

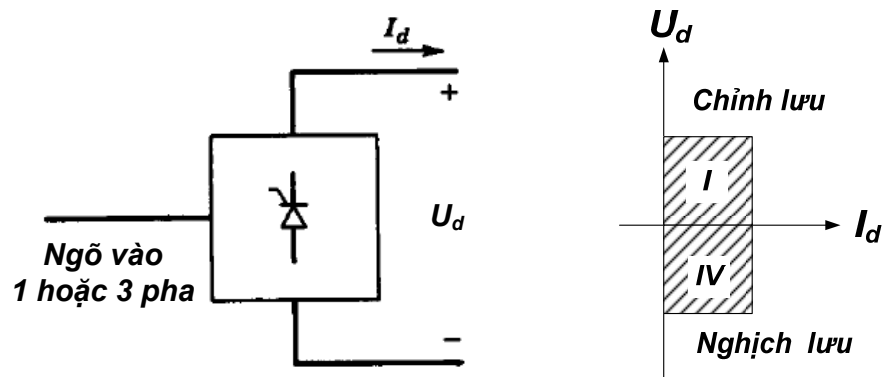
Chương 2

BỘ CHỈNH LƯU

Phần 2: Chỉnh lưu có điều khiển

1

Chỉnh lưu có điều khiển



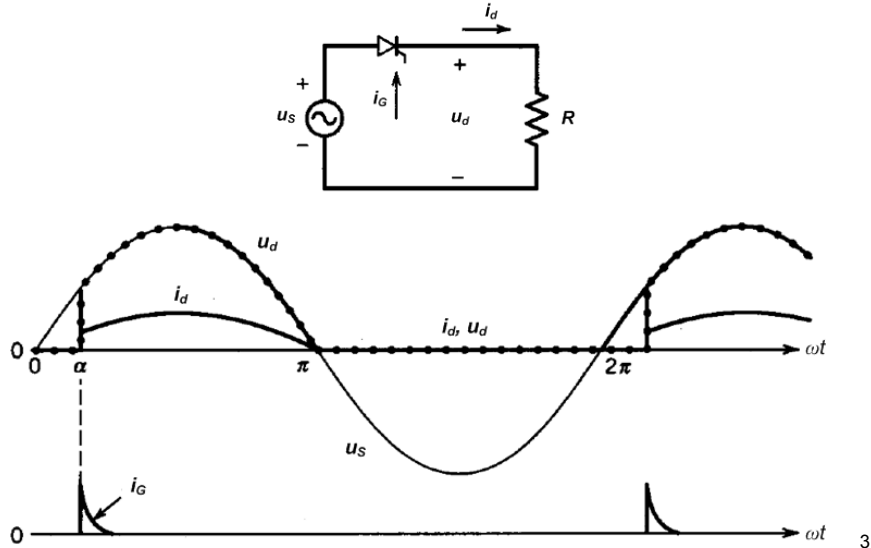
Ngõ vào: **ac** (1 pha hoặc 3 pha), tần số và điện áp không đổi

Ngõ ra: **dc** điều chỉnh được

2

Thyristor (SCR) & mạch điều khiển

Xét mạch chỉnh lưu bán sóng, tải R



Thyristor (SCR) & mạch điều khiển

Xét mạch chỉnh lưu bán sóng, tải R

Xét bán kỳ dương của nguồn u_s , lúc này thyristor được phân cực thuận.

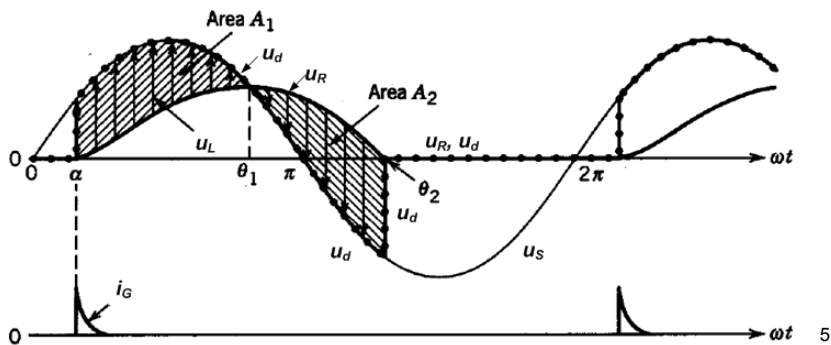
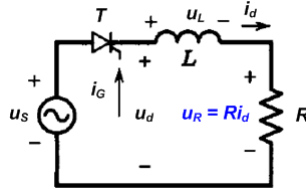
Giả thiết dòng điện i_d bằng zero tại thời điểm $\omega t = \alpha$, và thyristor được kích dẫn tại thời điểm này. Khi thyristor dẫn: $u_d = u_s$ và $i_d = \frac{u_d}{R}$. Như vậy, thyristor dẫn trong phần còn lại của bán kỳ dương ($i_d > 0$)

Tại thời điểm $\omega t = \pi$, dòng $i_d = 0$. Lúc này thyristor chuyển sang trạng thái tắt và trạng thái này duy trì cho đến thời điểm $\omega t = 2\pi + \alpha$, khi đó, thyristor nhận được xung kích và chu kỳ mới của u_d và i_d lại bắt đầu.

Bằng cách chỉnh góc kích α , có thể thay đổi được điện áp và dòng ngõ ra (u_d và i_d).

Thyristor (SCR) & mạch điều khiển

Xét mạch chỉnh lưu bán sóng, tải RL



Thyristor (SCR) & mạch điều khiển

Xét mạch chỉnh lưu bán sóng, tải RL

Xét bán kỳ dương của nguồn u_s , lúc này thyristor được phân cực thuận.

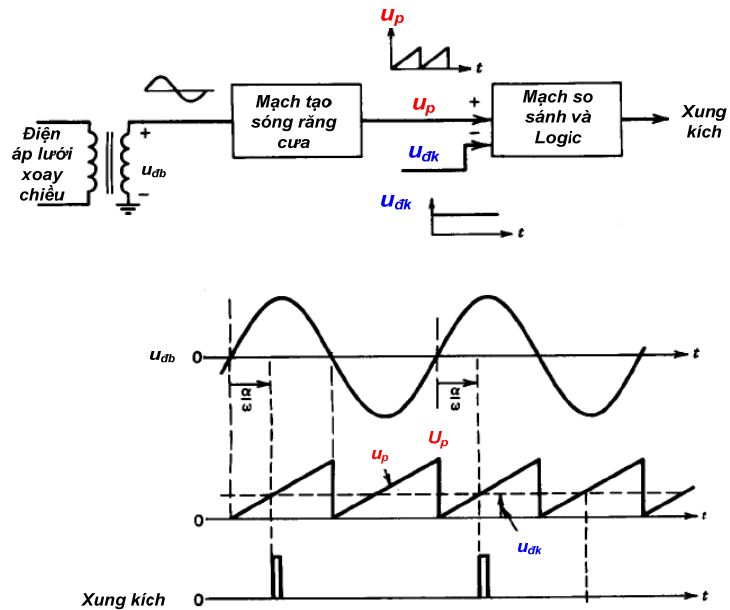
Giả thiết dòng điện i_d bằng zero tại thời điểm $\omega t = \alpha$, và thyristor được kích dẫn tại thời điểm này. Khi thyristor dẫn: $u_d = u_s$, và điện áp trên cuộn dây L là:

$$u_L(t) = L \frac{di_d}{dt} = u_s - u_R = u_s - Ri_d$$

→ Dòng i_d tăng trong khoảng α đến θ_1 (tương ứng với $u_L > 0$) và giảm trong khoảng θ_1 đến θ_2 (tương ứng với $u_L < 0$). Tại thời điểm θ_2 , dòng qua thyristor bằng zero nên thyristor tắt → sau thời điểm này $i_d = 0$.

Ngoài ra, lưu ý là ở chế độ xác lập, tích phân của điện áp trên L trong một chu kỳ = zero → diện tích $A_1 =$ diện tích A_2 .

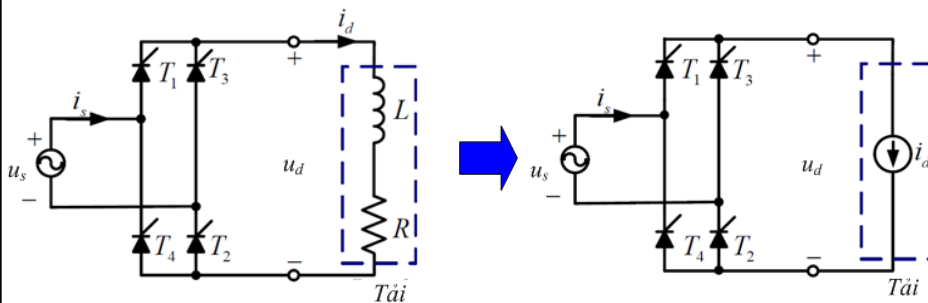
Phương pháp điều khiển bộ chỉnh lưu



7

Chỉnh lưu cầu 1 pha điều khiển toàn phần

Xét mạch có tải với L đủ lớn để dòng tải i_d có thể xem là phẳng



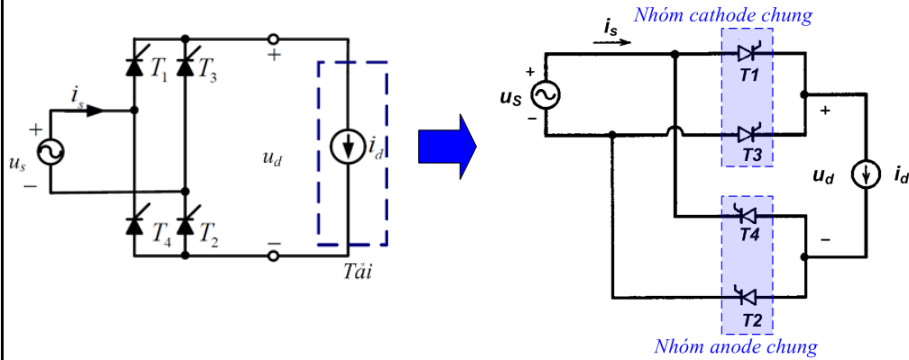
L đủ lớn \rightarrow dòng tải $i_d \approx I_d$

Mạch tương đương trong trường hợp này:
tải có thể thay bằng nguồn dòng I_d

8

Chỉnh lưu cầu 1 pha điều khiển toàn phần

Xét mạch có tải với L đủ lớn để dòng tải i_d có thể xem là phẳng

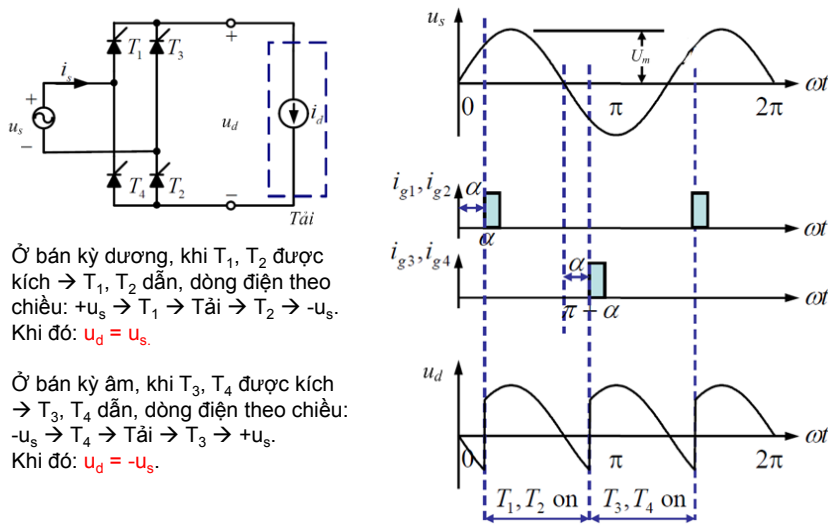


Tại mỗi thời điểm, chỉ có một thyristor trong mỗi nhóm dẫn điện

9

Chỉnh lưu cầu 1 pha điều khiển toàn phần

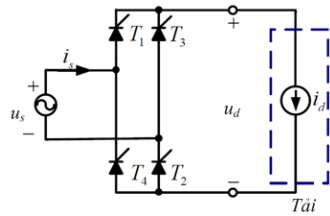
Xét mạch có tải với L đủ lớn để dòng tải i_d có thể xem là phẳng



10

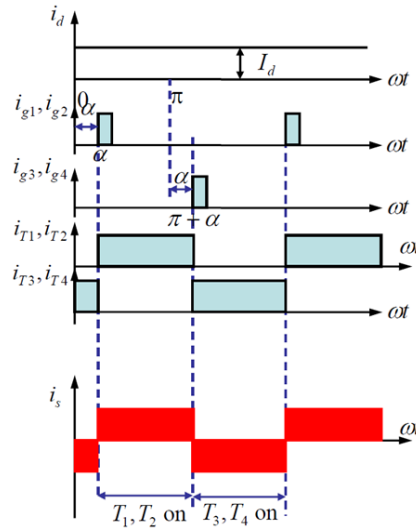
Chỉnh lưu cầu 1 pha điều khiển toàn phần

Xét mạch có tải với L đủ lớn để dòng tải i_d có thể xem là phẳng



Khi T_1, T_2 dẫn, ta có: $i_{T1} = i_{T2} = i_d$ và $i_s = i_d$.

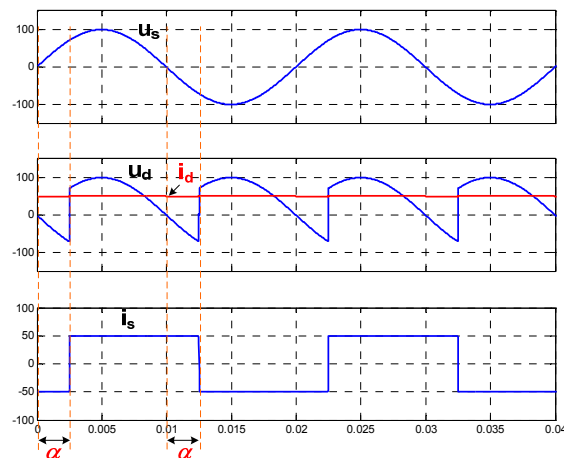
Khi T_3, T_4 dẫn, ta có: $i_{T3} = i_{T4} = i_d$ và $i_s = -i_d$.



11

Chỉnh lưu cầu 1 pha điều khiển toàn phần

Xét mạch có tải với L đủ lớn để dòng tải i_d có thể xem là phẳng

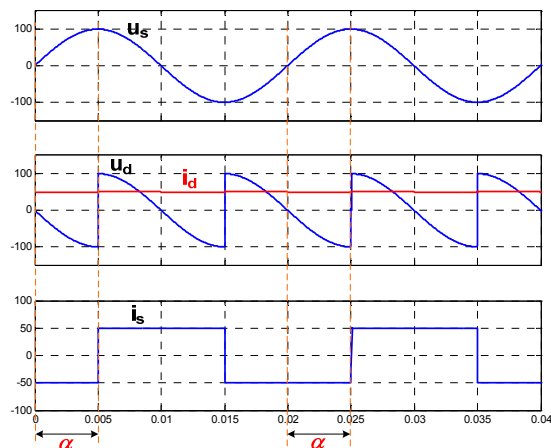


$$\text{Góc kích } \alpha = \frac{\pi}{4}$$

12

Chỉnh lưu cầu 1 pha điều khiển toàn phần

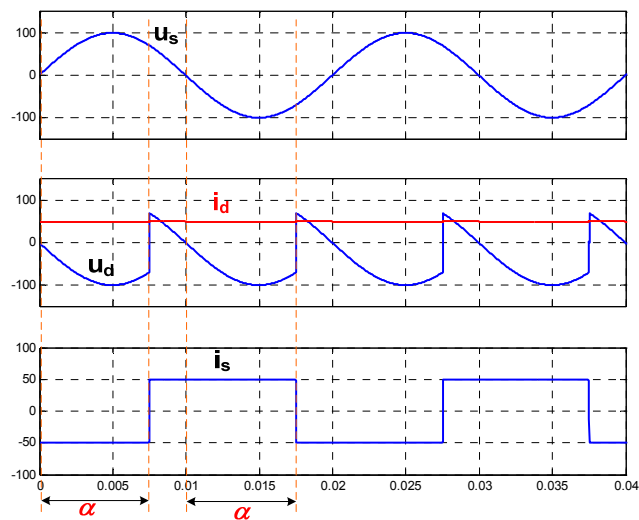
Xét mạch có tải với L đủ lớn để dòng tải i_d có thể xem là phẳng



$$\text{Góc kích } \alpha = \frac{\pi}{2}$$

13

Chỉnh lưu cầu 1 pha điều khiển toàn phần



$$\text{Góc kích } \alpha = \frac{3\pi}{4} = 135^\circ$$

14

Chỉnh lưu cầu 1 pha điều khiển toàn phần

Giả thiết **dòng qua tải là liên tục**:

- Điện áp tải có dạng chỉ phụ thuộc vào góc điều khiển α và áp nguồn.
- Phạm vi góc điều khiển α là $(0, \pi)$
- Trị trung bình điện áp chỉnh lưu :

$$U_d(\alpha) = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\pi} u_d dX = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\pi} U_m \cdot \sin X dX$$

$$U_d(\alpha) = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U \cos \alpha$$

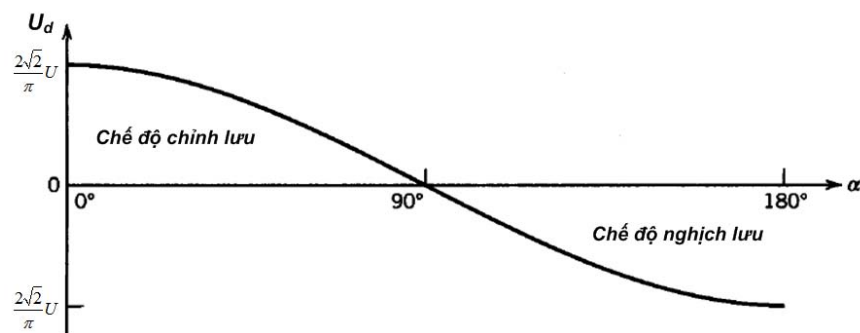
Trong đó: U là trị hiệu dụng của điện áp nguồn u_s .

Với $0 < \alpha < \pi$, trị trung bình điện áp chỉnh lưu U_d c

$$-\frac{2\sqrt{2}}{\pi} U < U_d(\alpha) < +\frac{2\sqrt{2}}{\pi} U$$

15

Chỉnh lưu cầu 1 pha điều khiển toàn phần



16

Chỉnh lưu cầu 1 pha điều khiển toàn phần

Chọn thyristor dựa trên thông số:

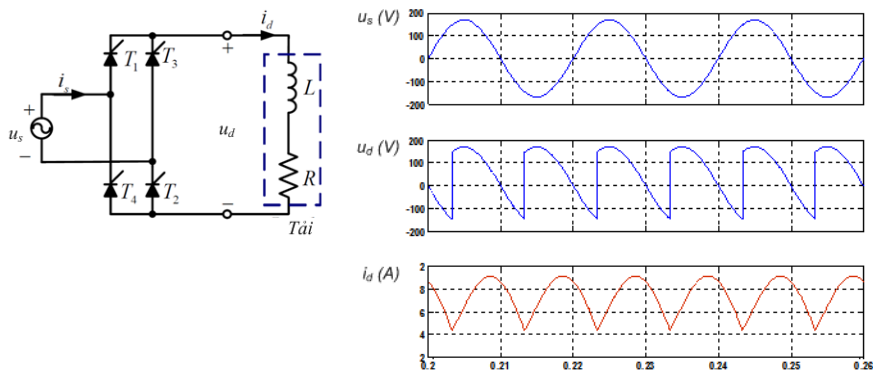
- Mỗi thyristor dẫn điện trong 1/2 chu kỳ áp nguồn
 → Trị trung bình dòng qua thyristor bằng $I_{TAV} = \frac{I_d}{2}$.
- Điện áp cực đại trên thyristor bằng biên độ áp nguồn U_m

17

Chỉnh lưu cầu 1 pha điều khiển toàn phần

Ví dụ 2.4:

Cho bộ chỉnh lưu cầu 1 pha điều khiển hoàn toàn với các tham số sau: áp pha nguồn ac 120V, $f=50\text{Hz}$. Tải R-L mắc nối tiếp $R=10\Omega$, $L=100\text{mH}$. Góc kích $\alpha = 60^\circ$. Xác định chế độ dòng điện tải và trị trung bình của nó



18

Chỉnh lưu cầu 1 pha điều khiển toàn phần

Ví dụ 2.4 (t-t)

Giải:

Có thể kiểm chứng để thấy rằng dòng điện tải liên tục.

$$\text{Trị trung bình áp tải: } U_d = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U \cos \alpha = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} 120 \cos 60^\circ = 54V$$

$$\text{Trị trung bình dòng tải: } I_d = \frac{U_d}{R} = \frac{54V}{10\Omega} = 5.4A$$

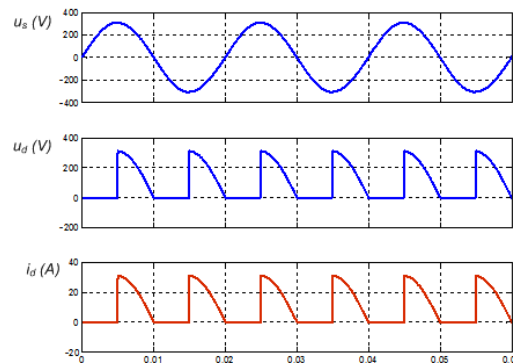
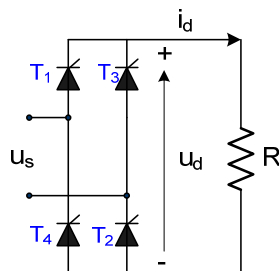
19

Chỉnh lưu cầu 1 pha điều khiển toàn phần

Ví dụ 2.17:

Cho bộ chỉnh lưu mạch cầu một pha điều khiển hoàn toàn tải R. Góc điều khiển $\alpha = \frac{\pi}{2} (rad)$. Áp nguồn $u = 220\sqrt{2} \sin 314t$ [V], $R = 10 \Omega$.

Tính U_d , I_d và công suất P_d .



20

Chỉnh lưu cầu 1 pha điều khiển toàn phần

Trị trung bình áp tải :

$$U_d = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\pi} u_d \cdot dx$$

$$U_d = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} U_m \cdot \sin x dx = \frac{2U_m}{\pi} \cdot \frac{1 + \cos \alpha}{2}$$

$$= \frac{2\sqrt{2} \cdot 220}{\pi} \cdot \frac{1 + 0}{2} = 99 \quad [V]$$

Trị trung bình dòng tải :

$$I_d = \frac{U_d}{R} = \frac{99}{10} = 9,9 \quad [A]$$

Công suất trung bình trên tải :

$$P_d = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\pi} u_d \cdot i_d dx = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \frac{u_d^2}{R} dx = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \frac{(U_m \sin \alpha)^2}{R} \cdot dx$$

Kết quả:

$$P_d = \frac{U_m^2}{4R} = 2420 \quad W$$

21

Chỉnh lưu cầu 1 pha điều khiển toàn phần

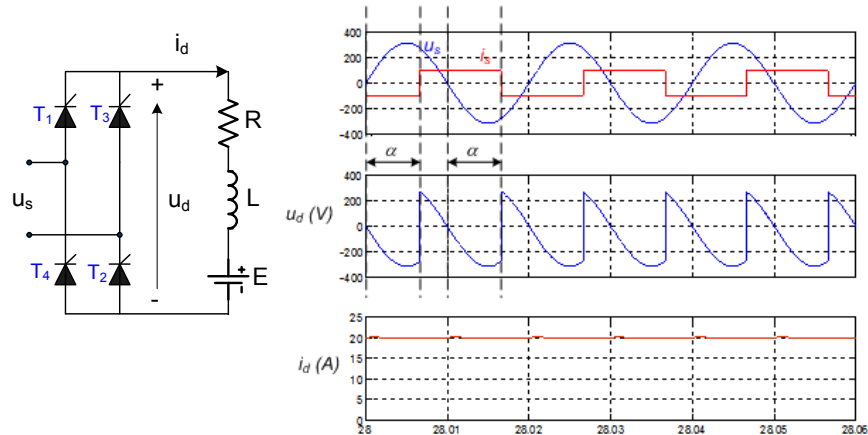
Ví dụ 2.12:

Cho bộ chỉnh lưu cầu một pha điều khiển hoàn toàn mắc vào nguồn ac một pha với trị hiệu dụng 220V, f=50Hz. Tải RLE với R=1 Ω , giả thiết dòng điện tải liên tục với L lớn vô cùng làm dòng tải phẳng với độ lớn I_d=20A.

- Cho biết góc điều khiển $\alpha = 120^\circ$, vẽ quá trình điện áp tải và dòng điện qua nguồn ac.
- Xác định độ lớn sức điện động E.
- Tính công suất phát ra của sức điện động và công suất nguồn ac nhận được.

22

Chỉnh lưu cầu 1 pha điều khiển toàn phần



23

Chỉnh lưu cầu 1 pha điều khiển toàn phần

Giải

- a. Đồ thị các quá trình điện áp tải, dòng điện nguồn- xem hình vẽ:
 Với giả thiết dòng tải liên tục, điện áp trung bình trên tải:

$$U_d = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot 220 \cdot \cos 120^\circ = -99[V]$$

- b. Sức điện động E xác định theo hệ thức:

$$U_d = R \cdot I_d + E \rightarrow E = U_d - R \cdot I_d = -99 - 1 \cdot 20 = -119[V]$$

24

Chỉnh lưu cầu 1 pha điều khiển toàn phần

c. Công suất phát ra từ tải:

$$P_E = E \cdot I_d = -119 \cdot 20 = -2380 \text{ W} = -2,38 \text{ kW}$$

Công suất tiêu hao trên điện trở:

$$P_R = R \cdot I_d^2 = 1 \cdot 20^2 = 400 \text{ W} = 0,4 \text{ kW}$$

Công suất nguồn ac cung cấp:

$$P_{ac} = U_d \cdot I_d = -99 \cdot 20 = -1980 \text{ W} = -1,98 \text{ kW}$$

Dấu (-) có nghĩa là tải đưa công suất về nguồn qua bộ chỉnh lưu.

25

Chỉnh lưu cầu 1 pha điều khiển toàn phần

Ví dụ 2.18:

Cho bộ chỉnh lưu mạch cầu một pha điều khiển toàn phần. Áp nguồn $u = 220\sqrt{2} \sin 314t$. Tải $R=1 \Omega$, $L = 0,01 \text{ H}$ và E . Mạch ở trạng thái xác lập với góc điều khiển $\alpha = \frac{2\pi}{3} (\text{rad})$. Kết luận gì về trạng thái áp và dòng tải nếu:

a/- $E = 150 [\text{V}] > 0$

b/- $E = -150 [\text{V}] < 0$

Giải:

Ở trạng thái xác lập:

$$U_d = R \cdot I_d + E$$

Giả sử dòng tải liên tục, trị trung bình điện áp và dòng điện chỉnh lưu:

$$U_d = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U \cdot \cos \alpha = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot 220 \cos \left(\frac{2\pi}{3} \right) = -99 \quad [\text{V}]$$

$$I_d = \frac{U_d - E}{R}$$

26

Chỉnh lưu cầu 1 pha điều khiển toàn phần

a/- Nếu $E = 150 \text{ V}$

$$I_d = \frac{-99 - 150}{10} = -24,9 \quad A$$

điều này **không thể xảy ra**.

Vậy trong trường hợp này **dòng tải gián đoạn**. Quá trình điện áp và dòng tải trong chu kỳ áp lưới gồm 2 khoảng:

$2\pi/3 < X < X_1$ dòng điện dẫn qua mạch (u, V_1, RLE, V_2):

$$u_d = u = 220\sqrt{2} \cdot \sin(314 \cdot t)$$

$$u_d = R \cdot i_d + L \cdot \frac{di_d}{dt} + E$$

$$R = 1\Omega, L = 0.01H, E = 150V$$

với $i_d(\alpha) = 0$

X_1 là góc tương ứng thời điểm dòng điện i_d đạt giá trị 0.

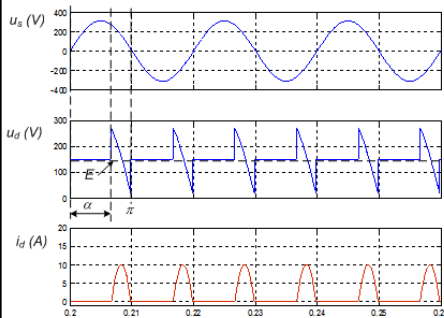
Khoảng $X_1 < X < \alpha + \pi$, dòng điện tải gián đoạn:

$$i_d = 0$$

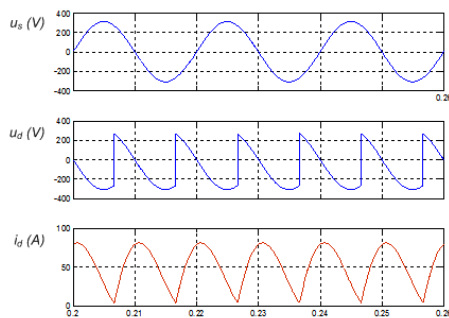
$$u_d = E = 150V$$

27

Chỉnh lưu cầu 1 pha điều khiển toàn phần



$E = 150V$



$E = -150V$

28

Chỉnh lưu cầu 1 pha điều khiển toàn phần

b/- Nếu $E = -150 \text{ V}$

$$I_d = \frac{-99 - (-150)}{10} = 5,1 \text{ A}$$

Do đó, bộ chỉnh lưu **có thể làm việc ở chế độ nghịch lưu**.

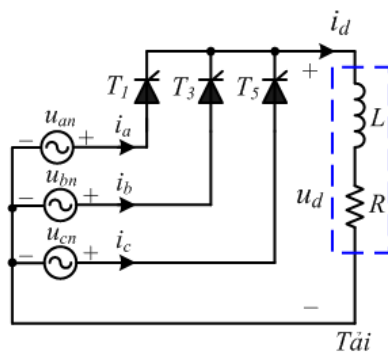
Kiểm tra bằng phần mềm mô phỏng cho thấy **dòng i_d là liên tục**. Vậy, điện áp trung bình và dòng trung bình ngõ ra của bộ chỉnh lưu khi này là: $U_d = -99 \text{ V}$ và $I_d = 5,1 \text{ A}$.

Dạng dòng điện và điện áp cho hai trường hợp được vẽ trên hình.

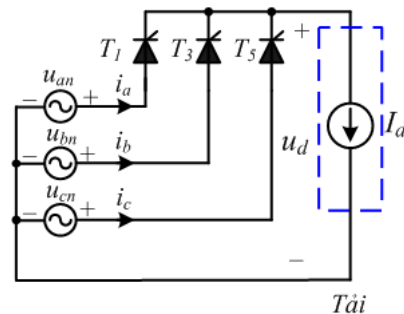
29

Chỉnh lưu 3 pha tia có điều khiển

Xét mạch có tải với L đủ lớn để dòng tải i_d có thể xem là phẳng



L đủ lớn \rightarrow dòng tải $i_d \approx I_d$

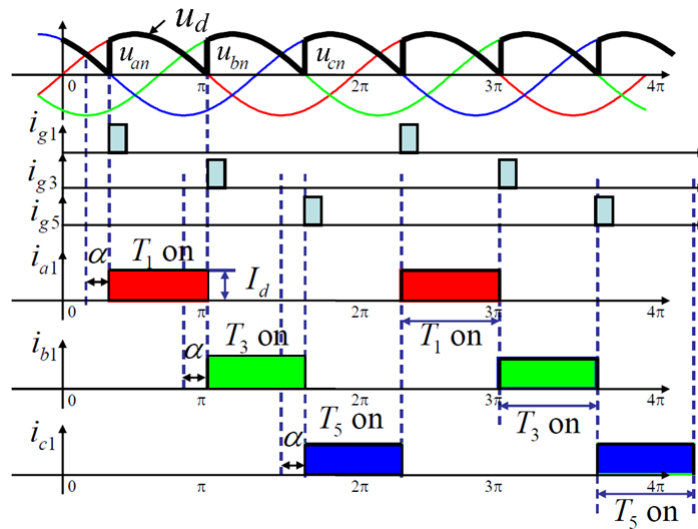


Mạch tương đương trong trường hợp này:
tải có thể thay bằng nguồn dòng I_d

30

Chỉnh lưu 3 pha tia có điều khiển

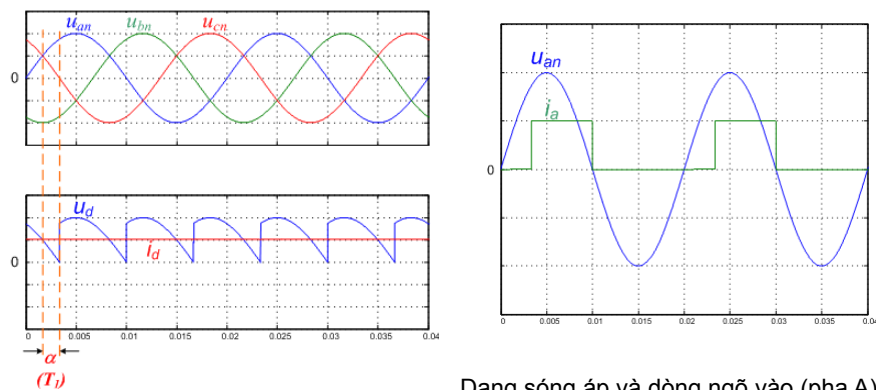
Xét mạch có tải với L đủ lớn để dòng tải i_d có thể xem là phẳng



31

Chỉnh lưu 3 pha tia có điều khiển

Xét mạch có tải với L đủ lớn để dòng tải i_d có thể xem là phẳng



Dạng sóng áp và dòng ngõ ra

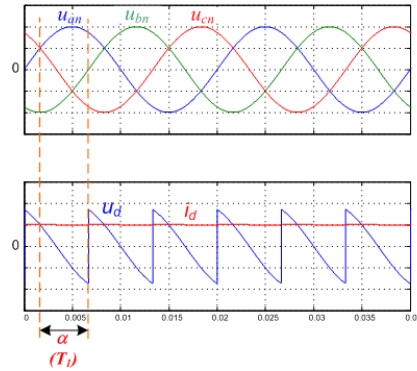
Dạng sóng áp và dòng ngõ vào (pha A)

$$\text{Góc kích } \alpha = \frac{\pi}{6} = 30^\circ$$

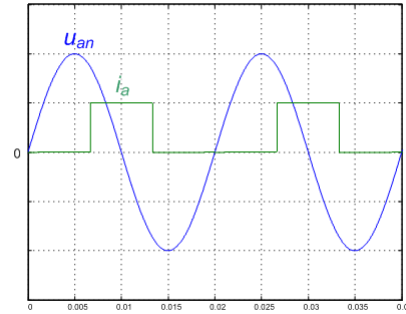
32

Chỉnh lưu 3 pha tia có điều khiển

Xét mạch có tải với L đủ lớn để dòng tải i_d có thể xem là phẳng



Dạng sóng áp và dòng ngõ ra



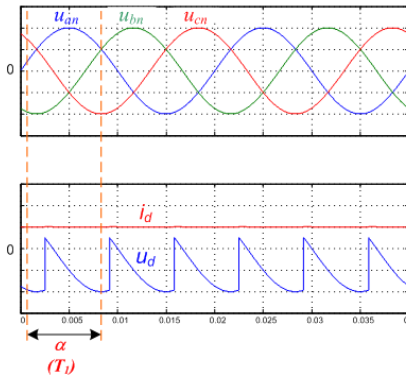
Dạng sóng áp và dòng ngõ vào (pha A)

$$\text{Góc kích } \alpha = \frac{\pi}{2} = 90^\circ$$

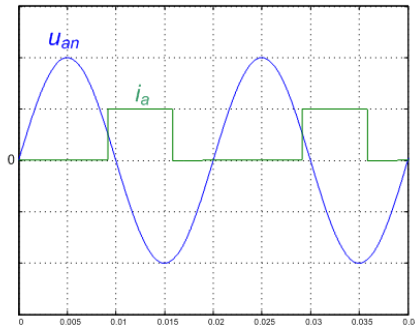
33

Chỉnh lưu 3 pha tia có điều khiển

Xét mạch có tải với L đủ lớn để dòng tải i_d có thể xem là phẳng



Dạng sóng áp và dòng ngõ ra



Dạng sóng áp và dòng ngõ vào (pha A)

$$\text{Góc kích } \alpha = \frac{3\pi}{4} = 135^\circ$$

34

Chỉnh lưu 3 pha tia có điều khiển

Xét chế độ dòng liên tục:

- Điện áp tải chỉ phụ thuộc vào điện áp nguồn và góc điều khiển α .

Điện áp tải có 3 xung trong 1 chu kỳ T của áp nguồn.

Chu kỳ áp chỉnh lưu T_p trên tải bằng $T_p = T/3$.

- Trị trung bình áp chỉnh lưu trên tải

$$U_d(\alpha) = \frac{1}{3} \int_{\alpha+\frac{\pi}{6}}^{\alpha+\frac{5\pi}{6}} U_m \sin X dX = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} U_m \cos \alpha = \frac{3\sqrt{6}}{2\pi} U \cos \alpha$$

- Phạm vi góc điều khiển α : $(0 \rightarrow \pi)$.

→ Điện áp chỉnh lưu trung bình U_d nằm trong khoảng:

$$-\frac{3\sqrt{6}}{2\pi} U < U_d < +\frac{3\sqrt{6}}{2\pi} U$$

- Khi điện áp trên tải có trị trung bình dương, tải nhận năng lượng từ nguồn → bộ chỉnh lưu làm việc ở chế độ chỉnh lưu.
- Khi áp trung bình trên tải âm, do dòng tải chỉ dương nên tải phát ra năng lượng → bộ chỉnh lưu làm việc ở chế độ nghịch lưu.

35

Chỉnh lưu 3 pha tia có điều khiển

Xét chế độ dòng liên tục (t-t):

Định mức linh kiện:

- Mỗi thyristor dẫn điện trong 1/3 chu kỳ áp nguồn

→ trị trung bình dòng qua thyristor: $I_{TAV} = \frac{I_d}{3}$.

- Điện áp khóa và áp ngược lớn nhất có thể xuất hiện trên linh kiện: $U_{DRM} = U_{RRM} = \sqrt{6} U$

36

Chỉnh lưu 3 pha tia có điều khiển

Ví dụ 2.1:

Bộ chỉnh lưu mạch tia 3 pha điều khiển mắc vào tải chứa $R = 10\Omega$, $E=50\text{ V}$ và điện cảm rất lớn làm dòng tải liên tục và phẳng. Áp nguồn xoay chiều 3 pha có trị hiệu dụng $U=220\text{ V}$. Mạch ở trạng thái xác lập.

- a. Tính trị trung bình của điện áp chỉnh lưu và dòng chỉnh lưu khi góc điều khiển $\alpha = \frac{\pi}{3} [\text{rad}]$
- b. Tính công suất trung bình của tải .
- c. Tính trị trung bình dòng qua mỗi linh kiện
- d. Tính trị hiệu dụng dòng qua mỗi pha nguồn .
- e. Tính hệ số công suất nguồn .

37

Giải: Chỉnh lưu 3 pha tia có điều khiển

- a.** Dòng qua tải liên tục nên suy ra:

$$U_d(\alpha) = \frac{3\sqrt{6}}{2\pi} \cdot U \cdot \cos \alpha$$

Thay $U = 220 [\text{V}]$, $\alpha = \frac{\pi}{3} [\text{rad}]$, ta thu được

$$U_d(\alpha) = \frac{3\sqrt{6}}{2\pi} \cdot 220 \cdot \cos\left(\frac{\pi}{3}\right) = 128,6 [\text{V}]$$

Mạch ở trạng thái xác lập nên ta có:

$$U_d = RI_d + E \quad , \quad \text{hay } I_d = \frac{U_d - E}{R}$$

Thay $U_d = 128,6 [\text{V}]$; $E = 50 [\text{V}]$; $R = 100 [\Omega]$

ta có kết quả:

$$I_d = \frac{128,6 - 50}{10} = 7,87 [\text{A}]$$

38

Chỉnh lưu 3 pha tia có điều khiển

b. Do dòng tải phẳng nên ta sử dụng hệ thức tính công suất trung bình sau:

$$P_d = U_d \cdot I_d \text{ hay } P_d = 128,6 \times 7,86 = 101,8 \text{ [W]}$$

c. Mỗi linh kiện dẫn điện trong khoảng thời gian bằng nhau và bằng 1/3 chu kỳ lưới. Từ đó, dòng trung bình qua mỗi linh kiện bằng:

$$I_{TAV} = I_d / 3 = 7,83 / 3 = 2,62 \text{ [A]}$$

d. Từ dạng đồ thị dòng qua pha nguồn của bộ chỉnh lưu, ta có trị hiệu dụng dòng I:

$$I = \frac{I_d}{\sqrt{3}}$$

$$I = 4,54 \text{ [A]}$$

39

Chỉnh lưu 3 pha tia có điều khiển

e. Hệ số công suất của nguồn λ

$$\lambda = \frac{P}{S}$$

Nếu bỏ qua công suất tổn hao trên linh kiện, ta có:

$$P = P_d = 1010,8 \text{ W} = 1,01 \text{ kW}$$

Công suất biểu kiến của nguồn :

$$S = U_1 I_1 + U_2 I_2 + U_3 I_3 = 3 U_1 I_1$$

với :

$$U_1 = U = 220 \text{ V} ; \quad I_1 = I = 4,54 \text{ A} ; \quad S = 3 \cdot 220 \cdot 4,54 = 2904 \text{ VA} = 2,9 \text{ kVA}$$

Hệ số công suất của nguồn S:

$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{1010,8}{2904} = 0,3481$$

Ghi chú: hệ số công suất thay đổi phụ thuộc vào góc điều khiển và có độ lớn giảm dần khi góc điều khiển tăng dần và đạt giá trị lớn nhất khi góc điều khiển bằng 0 (giống như trường hợp chỉnh lưu không điều khiển). Hệ số công suất nguồn thường có giá trị nhỏ hơn 1 ngay cả khi góc điều khiển nhỏ nhất ($\alpha=0$).

Chỉnh lưu 3 pha tia có điều khiển

Ví dụ 2.15:

Bộ chỉnh lưu mạch tia ba pha mắc vào tải thuần trở $R = 10 \Omega$. Nguồn xoay chiều có trị hiệu dụng áp pha bằng 220 V, $\omega = 314 \text{ rad/s}$. Vẽ đồ thị và tính trị trung bình của điện áp và dòng điện tải trong hai trường hợp góc điều khiển:

a/ $\alpha = \frac{\pi}{9} [\text{rad}]$

b/ $\alpha = \frac{2\pi}{3} [\text{rad}]$

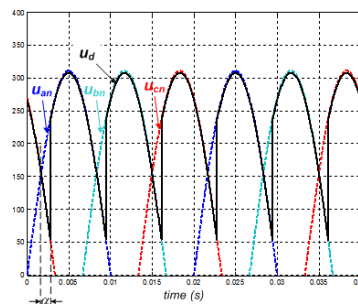
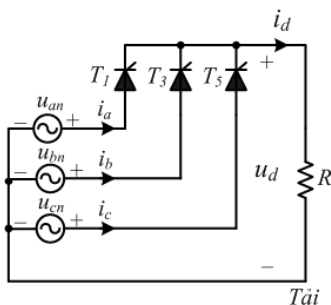
Giải:

Trường hợp $\alpha = \frac{\pi}{9} [\text{rad}]$ dòng qua tải liên tục (xem hình)

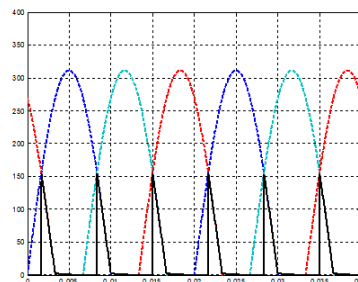
Trường hợp $\alpha = \frac{2\pi}{3} [\text{rad}]$, dòng qua tải bị gián đoạn (xem hình).

41

Chỉnh lưu 3 pha tia có điều khiển



$\alpha = \pi/9$



$\alpha = 2\pi/3$

42

Chỉnh lưu 3 pha tia có điều khiển

a/- Góc kích $\alpha = \frac{\pi}{9} [rad]$:

$$U_d = \frac{3\sqrt{6}}{2\pi} U \cos \alpha = \frac{3\sqrt{6}}{2\pi} \cdot 220 \cdot \cos\left(\frac{\pi}{9}\right) = 241,78 [V]$$

$$I_d = \frac{U_d}{R} = \frac{241,78}{10} = 24,178 [A]$$

b/- Góc kích $\alpha = \frac{2\pi}{3} [rad]$:

$$U_d = \frac{1}{2\pi} \cdot \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\pi} U_m \cdot \sin x \cdot dx = \frac{3U_m}{2\pi} \cdot \left[1 + \cos\left(\alpha + \frac{\pi}{6}\right)\right]$$

$$U_d = \frac{3\sqrt{2} \cdot 220}{2\pi} \left[1 + \cos\left(\frac{2\pi}{3} + \frac{\pi}{6}\right)\right] = 19,9 [V]$$

$$I_d = \frac{U_d}{R} = \frac{19,9}{10} = 1,99 [A]$$

43

Chỉnh lưu 3 pha tia có điều khiển

Ví dụ 2.16:

Bộ chỉnh lưu mạch tia ba pha điều khiển mắc vào nguồn $U = 220 \text{ V}$,

$\omega = 314 \text{ rad/s}$. Tải có RE, $R = 10 \Omega$, $E = 50 \text{ V}$. Vẽ các quá trình áp và

dòng tải và kết luận. Cho biết góc điều khiển :

$$a / - \alpha = \frac{\pi}{6} [rad]$$

$$b / - \alpha = \frac{\pi}{2} [rad]$$

44

Chỉnh lưu 3 pha tia có điều khiển

Giải:

Để ý rằng:

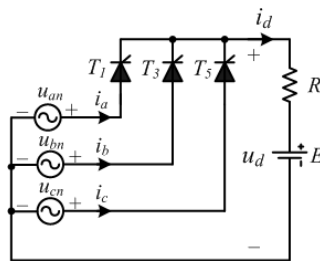
$$i_d = \frac{u_d - E}{R},$$

Do đó, khi $(u_d - E) < 0 \rightarrow$ dòng $i_d = 0$.

Áp tải lúc đó;

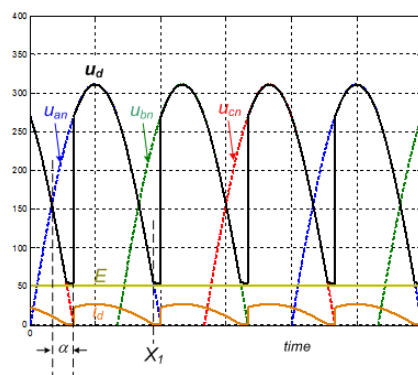
$$u_d = R \cdot i_d + E = R \cdot 0 + E = E = 50V$$

Dạng áp và dòng ngõ ra khi $\alpha = \pi/6$ và khi $\alpha = \pi/2$ cho trên hình

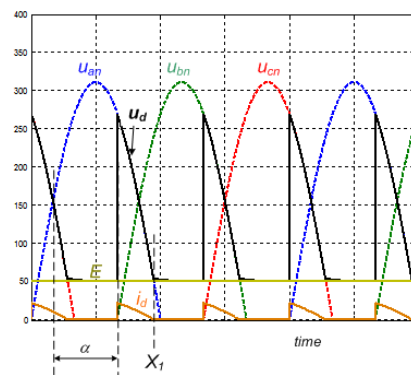


45

Chỉnh lưu 3 pha tia có điều khiển



$$\alpha = \pi/6$$



$$\alpha = \pi/2$$

46

Chỉnh lưu 3 pha tia có điều khiển

Xét quá trình với nguồn u_{an} .

Thời điểm E cắt u_1 là nghiệm phương trình:

$$U_m \sin X_1 = E$$

Phương trình cho 2 nghiệm trong khoảng $0 \rightarrow 180^\circ$ là $X_0 = 9.3^\circ$ và $X_1 = 170.7^\circ$.

Dòng điện tải cho bởi

$$i_d = \frac{u_d - E}{R}$$

Trị trung bình áp tải

$$U_d = \frac{1}{2\pi/3} \int_{\alpha+\pi/6}^{\alpha+5\pi/6} u_d \cdot dx$$

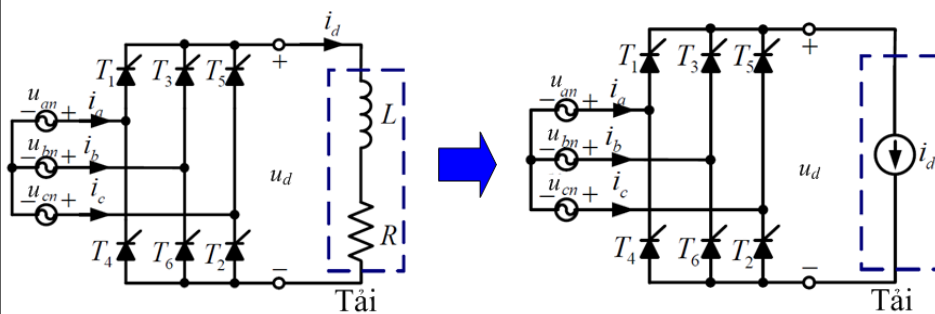
$$U_d = \frac{1}{2\pi/3} \left[\int_{\alpha+\pi/6}^{X_1} U_m \sin x \cdot dx + \int_{X_1}^{\alpha+5\pi/6} E \cdot dx \right]$$

Kết quả $U_d = 224$ [V] khi $\alpha = \pi/6$ và $U_d = 257$ [V] khi $\alpha = \pi/2$.

47

Chỉnh lưu 3 pha cầu điều khiển toàn phần

Xét mạch có tải với L đủ lớn để dòng tải i_d có thể xem là phẳng



L đủ lớn \rightarrow dòng tải $i_d \approx I_d$

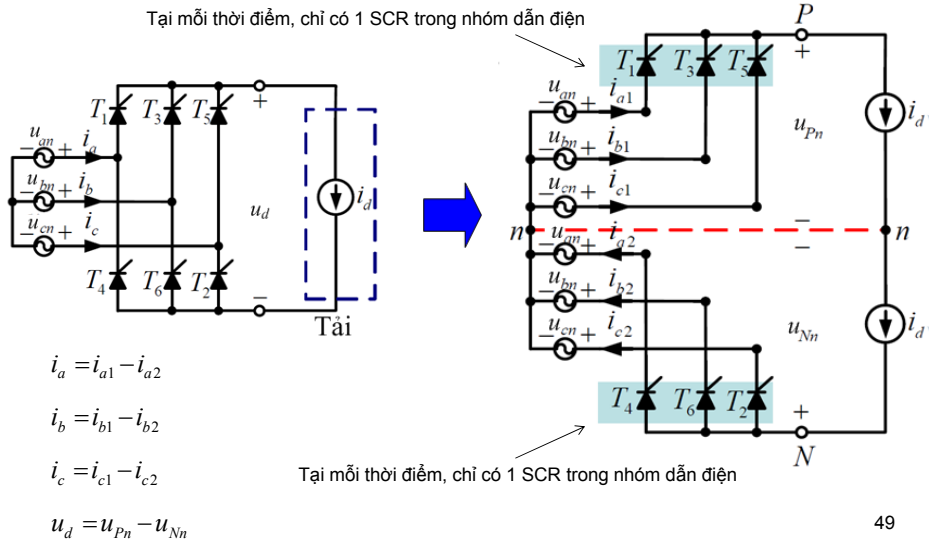
Mạch tương đương trong trường hợp này:
tải có thể thay bằng nguồn dòng I_d

48

Chỉnh lưu 3 pha cầu điều khiển toàn phần

Xét mạch có tải với L đủ lớn để dòng tải i_d có thể xem là phẳng

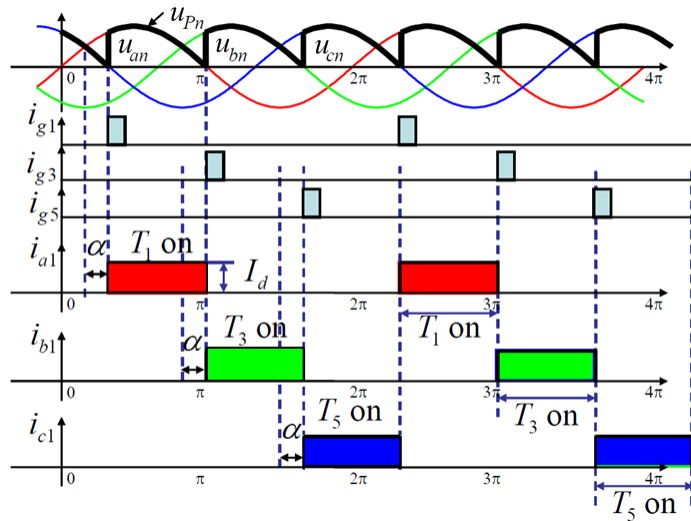
Tại mỗi thời điểm, chỉ có 1 SCR trong nhóm dẫn điện



49

Chỉnh lưu 3 pha cầu điều khiển toàn phần

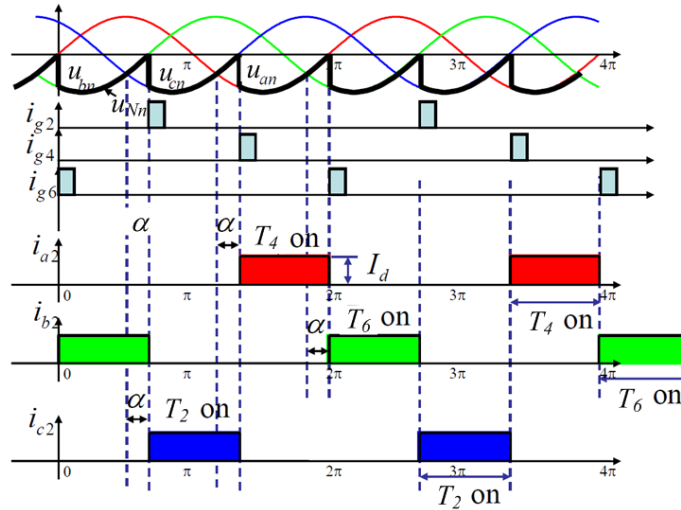
Xét mạch có tải với L đủ lớn để dòng tải i_d có thể xem là phẳng



50

Chỉnh lưu 3 pha cầu điều khiển toàn phần

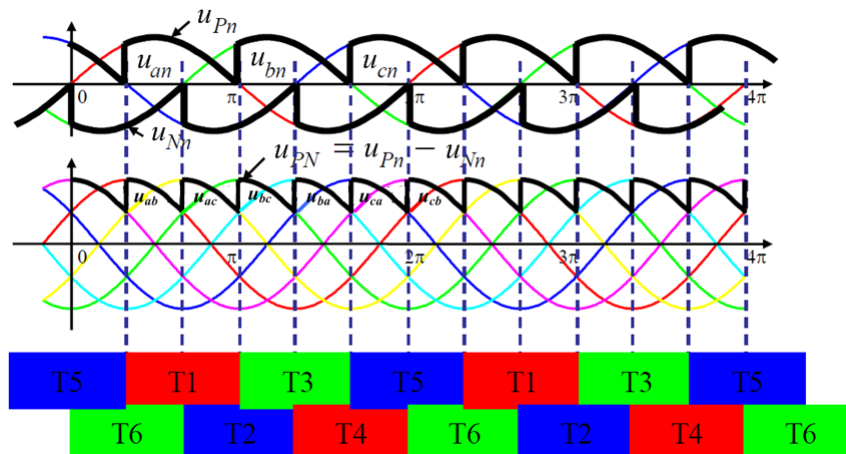
Xét mạch có tải với L đủ lớn để dòng tải i_d có thể xem là phẳng



51

Chỉnh lưu 3 pha cầu điều khiển toàn phần

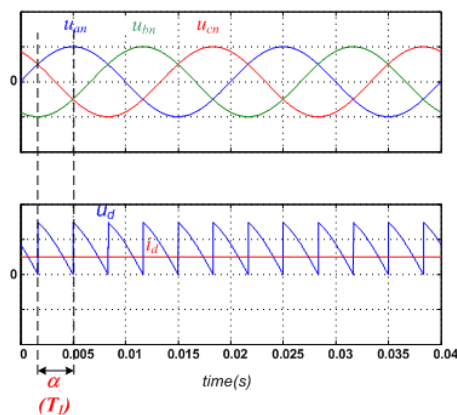
Xét mạch có tải với L đủ lớn để dòng tải i_d có thể xem là phẳng



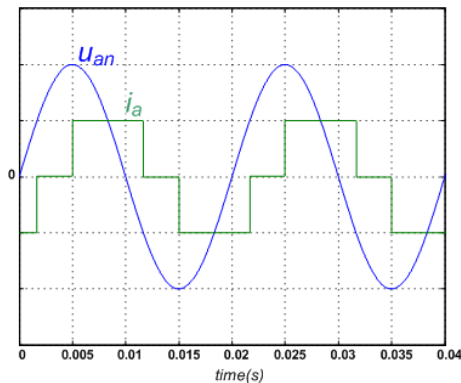
52

Chỉnh lưu 3 pha cầu điều khiển toàn phần

Xét mạch có tải với L đủ lớn để dòng tải i_d có thể xem là phẳng



Dạng sóng áp và dòng ngõ ra



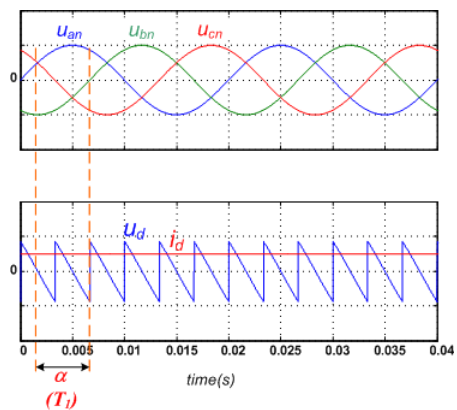
Dạng sóng áp và dòng ngõ vào (pha A)

$$\text{Góc kích } \alpha = \frac{\pi}{3} = 60^\circ$$

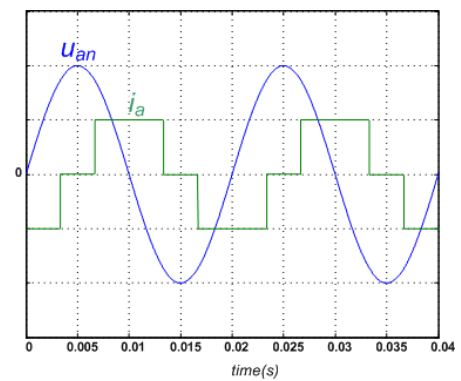
53

Chỉnh lưu 3 pha cầu điều khiển toàn phần

Xét mạch có tải với L đủ lớn để dòng tải i_d có thể xem là phẳng



Dạng sóng áp và dòng ngõ ra



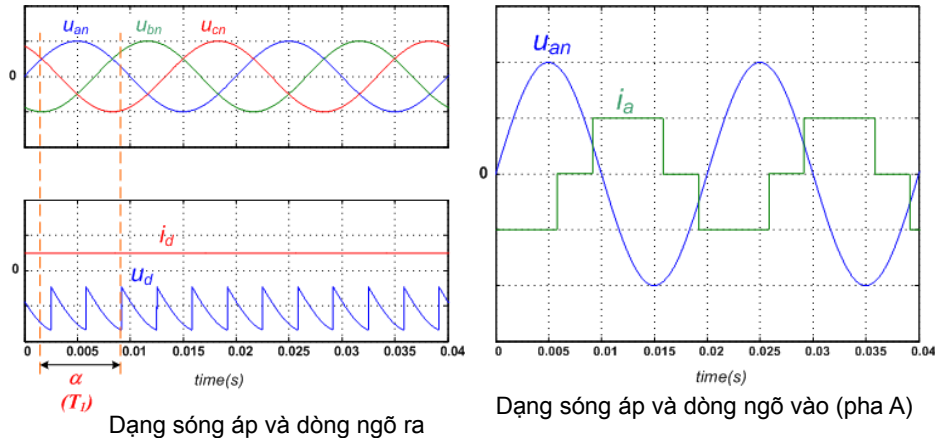
Dạng sóng áp và dòng ngõ vào (pha A)

$$\text{Góc kích } \alpha = \frac{\pi}{2} = 90^\circ$$

54

Chỉnh lưu 3 pha cầu điều khiển toàn phần

Xét mạch có tải với L đủ lớn để dòng tải i_d có thể xem là phẳng



$$\text{Góc kích } \alpha = \frac{3\pi}{4} = 135^\circ$$

55

Chỉnh lưu 3 pha cầu điều khiển toàn phần

Khi dòng điện tải liên tục:

- Dạng điện áp tải có 6 xung và chỉ phụ thuộc vào góc điều khiển và điện áp nguồn xoay chiều. Chu kỳ xung chỉnh lưu bằng $\frac{1}{6}$ chu kỳ

$$\text{áp nguồn } T_p = \frac{1}{6} T$$

- Trị trung bình điện áp chỉnh lưu:

$$U_d(\alpha) = \frac{1}{2\pi} \int_{x_0}^{x_0 + \frac{2\pi}{6}} u_d dX = U_{dA}(\alpha) - U_{dK}(\alpha) = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} U_m \cos \alpha$$

$$U_d(\alpha) = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U \cdot \cos \alpha$$

với U là trị hiệu dụng điện áp pha $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$

56

Chỉnh lưu 3 pha cầu điều khiển toàn phần

- Phạm vi góc điều khiển α : bằng phạm vi góc điều khiển của các nhóm chỉnh lưu mạch tia, tức $(0, \pi)$. Do đó, điện áp trung bình trên tải có thể điều khiển thay đổi trong khoảng

$$\left\{ -\frac{3\sqrt{6}}{\pi} U, \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U \right\}$$

- Dòng trung bình qua tải (RLE): $I_d = \frac{U_d - E}{R}$

- Mỗi thyristor dẫn điện trong $\frac{1}{3}$ chu kỳ áp nguồn nên **trị trung bình**

$$\text{dòng điện qua thyristor: } I_{TAV} = \frac{I_d}{3}$$

- Điện áp khóa và áp ngược cực đại xuất hiện trên linh kiện

$$U_{DRM} = U_{RRM} = \sqrt{3} U_m = \sqrt{6} U$$

57

Chỉnh lưu 3 pha cầu điều khiển toàn phần

- Dòng điện qua nguồn điện áp, ví dụ qua pha 1:

$$i_1 = i_{V1} - i_{V4}$$

- Trị hiệu dụng dòng điện qua nguồn được xác định với giả thiết dòng tải không đổi:

$$I_{s,rms} = \left[\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i_1^2 dX \right]^{1/2} = \sqrt{\frac{2}{3}} I_d$$

- Bằng cách phân tích Fourier dòng điện qua nguồn cho trường hợp góc kích $\alpha = 0$, ta xác định biểu thức dòng điện qua pha thứ nhất:

$$i_a(t) = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} I_d \cdot \left(\sin \omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \frac{1}{7} \sin 7\omega t + \frac{1}{11} \sin 11\omega t + \frac{1}{13} \sin 13\omega t \right)$$

Kết quả cho thấy dòng điện qua nguồn bao gồm ngoài thành phần cơ bản còn có các sóng hài bậc $6k \pm 1$, $k=1,2,3\dots$

58

Chỉnh lưu 3 pha cầu điều khiển toàn phần

Ví dụ 2.3:

Cho bộ chỉnh lưu cầu 3 pha điều khiển hoàn toàn với các tham số sau: áp dây nguồn ac 480V, $f=50\text{Hz}$. Tải RL với $R=10\Omega$ và L đủ lớn để dòng ngõ ra luôn liên tục. Xác định góc kích để dòng tải trung bình bằng 50A.

Giải:

Trị trung bình áp tải: $U_d=R.I_d=50.10=500\text{V}$

Góc kích cần thiết:

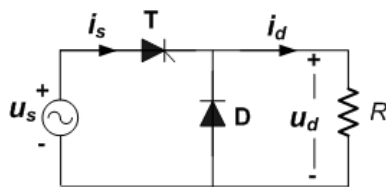
$$\alpha = \arccos\left(\frac{U_d \cdot \pi}{3\sqrt{2} \cdot U_L}\right) = \arccos\left(\frac{500 \cdot \pi}{3\sqrt{2} \cdot 480}\right)$$

$$\alpha = 39,5^\circ$$

59

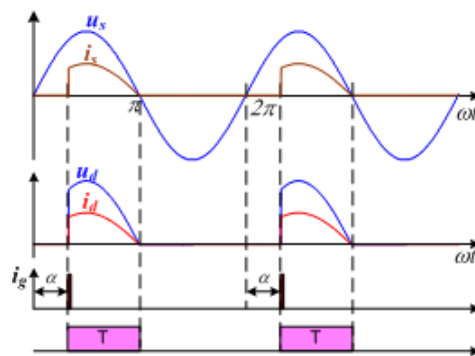
Chỉnh lưu có điều khiển 1 pha bán sóng với diode phóng điện

Xét mạch có tải thuần trở



Thyristor T dẫn trong khoảng $\alpha \rightarrow \pi$ và tắt trong phần còn lại của chu kỳ,

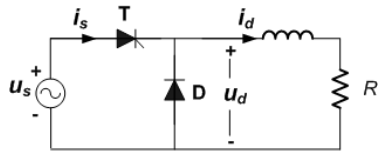
Diode D không hoạt động.



60

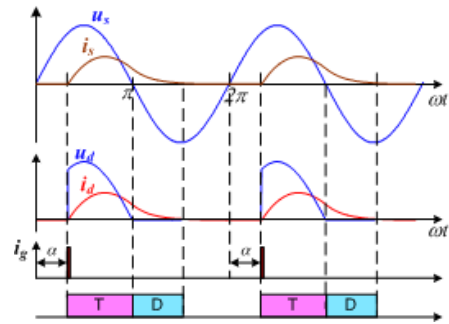
Chỉnh lưu có điều khiển 1 pha bán sóng với diode phóng điện

Xét mạch với tải R+L



Thyristor T dẫn trong khoảng $\alpha \rightarrow \pi$, sau đó, diode phóng điện D hoạt động.

Khi D dẫn, T tắt do bị phân cực ngược bởi điện áp nguồn u_s .

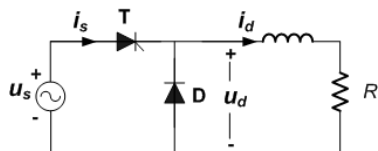


L nhỏ, diode D tắt trước khi thyristor T được kích trở lại

61

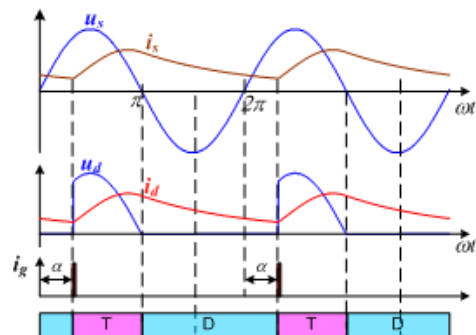
Chỉnh lưu có điều khiển 1 pha bán sóng với diode phóng điện

Xét mạch với tải R+L



Khi L đủ lớn, D tiếp tục dẫn điện cho đến khi thyristor T được kích trở lại trong chu kỳ mới.

Lúc này, dòng tải i_d ở chế độ dòng liên tục.



L đủ lớn, khoảng dẫn của i_d kéo dài

62

Chỉnh lưu có điều khiển 1 pha bán sóng với diode phóng điện

Trường hợp dòng tải liên tục:

Trị trung bình áp tải:

$$U_d = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{2\pi+\alpha} u_d \cdot dx = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} U_m \cdot \sin x \cdot dx = \frac{U_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha)$$

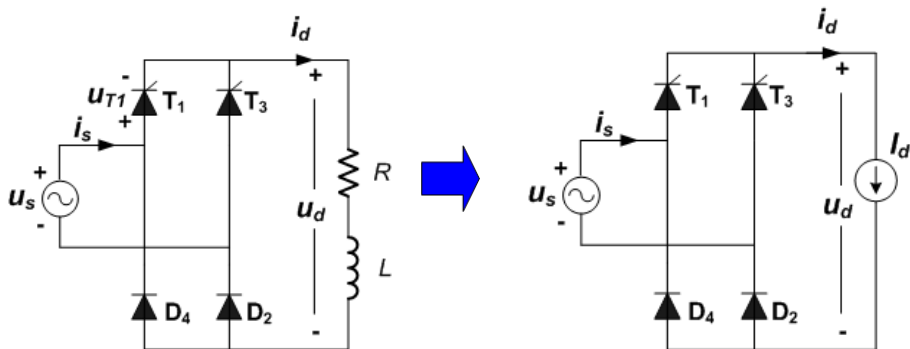
Trị trung bình dòng tải (tải RLE):

$$I_d = \frac{U_d - E}{R}$$

63

Chỉnh lưu 1 pha cầu điều khiển bán phần

Xét mạch có tải với L đủ lớn để dòng tải i_d có thể xem là phẳng



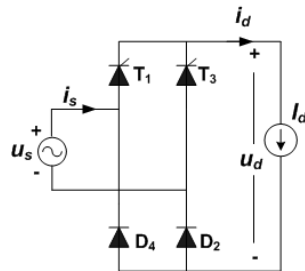
L đủ lớn \rightarrow dòng tải $i_d \approx I_d$

Mạch tương đương trong trường hợp này:
tải có thể thay bằng nguồn dòng I_d

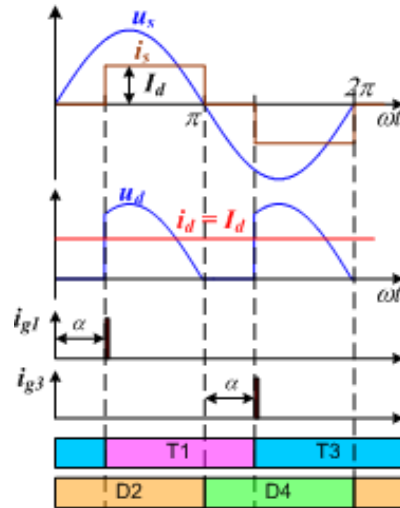
64

Chỉnh lưu 1 pha cầu điều khiển bán phần

Xét mạch có tải với L đủ lớn để dòng tải i_d có thể xem là phẳng



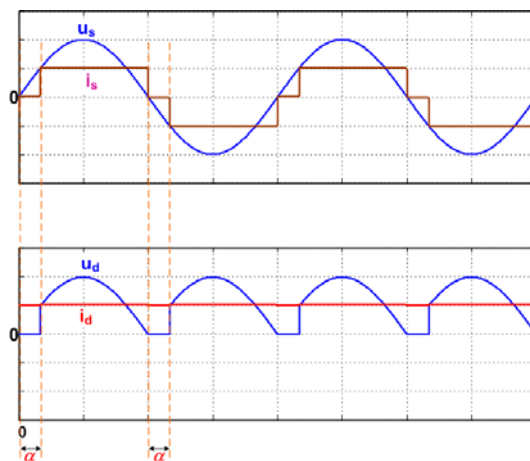
Khi T1, D2 dẫn: $u_d = u_s$ và $i_s = i_d$
 Khi T1, D4 dẫn: $u_d = 0$ và $i_s = 0$
 Khi T3, D4 dẫn: $u_d = -u_s$ và $i_s = -i_d$
 Khi T3, D2 dẫn: $u_d = 0$ và $i_s = 0$



65

Chỉnh lưu 1 pha cầu điều khiển bán phần

Xét mạch có tải với L đủ lớn để dòng tải i_d có thể xem là phẳng

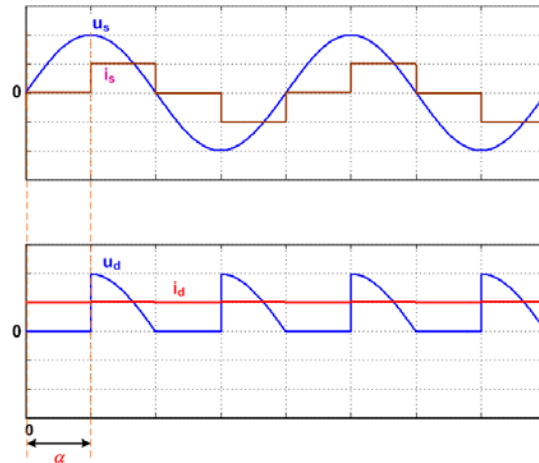


Dạng áp và dòng nguồn, áp trên tải và dòng trên tải - Góc kích = 30°

66

Chỉnh lưu 1 pha cầu điều khiển bán phần

Xét mạch có tải với L đủ lớn để dòng tải i_d có thể xem là phẳng

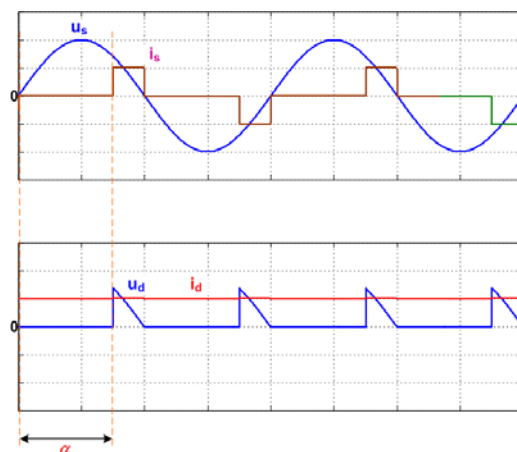


Dạng áp và dòng nguồn, áp trên tải và dòng trên tải - Góc kích = 90°

67

Chỉnh lưu 1 pha cầu điều khiển bán phần

Xét mạch có tải với L đủ lớn để dòng tải i_d có thể xem là phẳng



Dạng áp và dòng nguồn, áp trên tải và dòng trên tải - Góc kích = 135°

68

Chỉnh lưu 1 pha cầu điều khiển bán phần

Giả thiết dòng tải liên tục

Trị trung bình điện áp tải:

$$U_d(\alpha) = \frac{U_m}{\pi}(1 + \cos \alpha) = \frac{U\sqrt{2}}{\pi}(1 + \cos \alpha)$$

Nếu giả thiết dòng qua tải được lọc phẳng $i_d = I_d$, ta có:

Trị trung bình dòng qua linh kiện:

$$I_{SCRAV} = \frac{\pi - \alpha}{2\pi} I_d ; I_{DAV} = \frac{\pi + \alpha}{2\pi} I_d$$

Trị hiệu dụng dòng điện qua nguồn: $I = \sqrt{\frac{\pi - \alpha}{\pi}} I_d$

69

Chỉnh lưu 1 pha cầu điều khiển bán phần

Ví dụ 2.10:

So sánh hệ số công suất giữa bộ chỉnh lưu cầu một pha điều khiển toàn phần và bộ chỉnh lưu cầu một pha điều khiển bán phần. Cho biết áp nguồn xoay chiều, công suất tải và dòng tải trong hai trường hợp là như nhau $U = 220V$, $P_d = 10kW$. Dòng tải i_d liên tục và phẳng $i_d = I_d = 100A$

70

Chỉnh lưu 1 pha cầu điều khiển bán phần

Giải:

Công suất tải của mạch chỉnh lưu điều khiển toàn phần

$$P_d = U_{dtp} \cdot I_{dtp} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot U \cdot \cos \alpha_{tp} \cdot I_{dtp}$$

và mạch điều khiển bán phần

$$P_d = U_{dbp} \cdot I_{dbp} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot U \cdot \frac{1 + \cos \alpha_{bp}}{2} \cdot I_{dbp}$$

Công suất biểu kiến của nguồn trong hai trường hợp:

$$S_{tp} = U \cdot I_{tp} = U \cdot I_{dtp}$$

$$S_{bp} = U \cdot I_{bp} = U \cdot \sqrt{\frac{\pi - \alpha_{bp}}{\pi}} \cdot I_{dbp}$$

71

Chỉnh lưu 1 pha cầu điều khiển bán phần

Từ đó hệ số công suất λ :

$$\lambda_{tp} = \frac{P_{tp}}{S_{tp}} = \frac{P_{tp}}{U \cdot I_{dtp}} = \frac{10.000}{220 \cdot 100} = 0,4545$$

$$\lambda_{bp} = \frac{P_{bp}}{S_{bp}} = \frac{P_d}{U \cdot \sqrt{\frac{\pi - \alpha_{bp}}{\pi}} \cdot I_{dbp}}$$

Xác định α_{bp} :

$$\cos \alpha_{bp} = \frac{\pi \cdot P_d}{\sqrt{2} \cdot U \cdot I_d} - 1 = \frac{\pi \cdot 10.000}{\sqrt{2} \cdot 220 \cdot 100} - 1 = 0,00974$$

$$\Rightarrow \alpha_{bp} = 1,56105$$

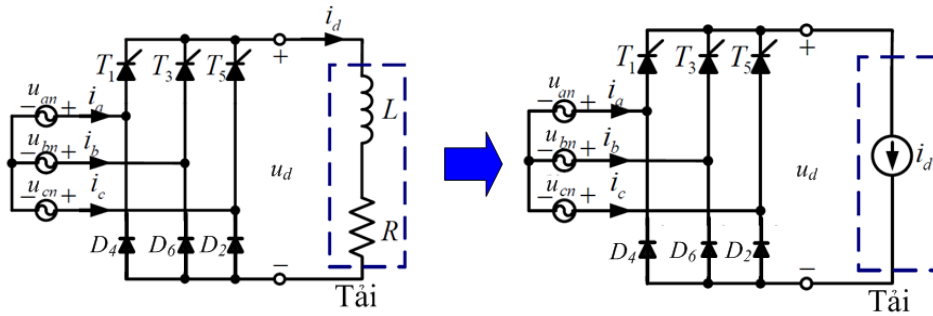
$$\lambda_{bp} = \frac{P_{bp}}{S_{bp}} = \frac{10000}{220 \cdot \sqrt{\frac{\pi - 1,561}{\pi}} \cdot 100} = 0,6408$$

Từ đó: mạch chỉnh lưu điều khiển bán phần đạt giá trị hệ số công suất cao hơn.

72

Chỉnh lưu 3 pha cầu điều khiển bán phần

Xét mạch có tải với L đủ lớn để dòng tải i_d có thể xem là phẳng



L đủ lớn \rightarrow dòng tải $i_d \approx I_d$

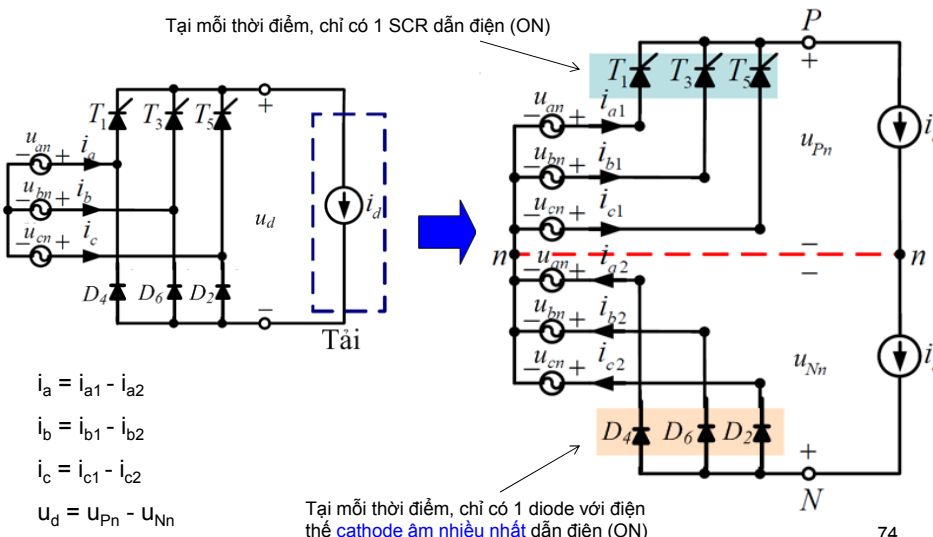
Mạch tương đương trong trường hợp này:
tải có thể thay bằng nguồn dòng I_d

73

Chỉnh lưu 3 pha cầu điều khiển bán phần

Xét mạch có tải với L đủ lớn để dòng tải i_d có thể xem là phẳng

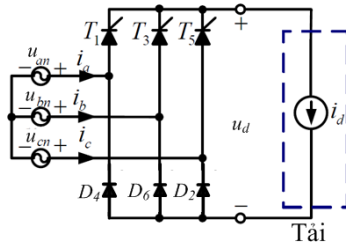
Tại mỗi thời điểm, chỉ có 1 SCR dẫn điện (ON)



74

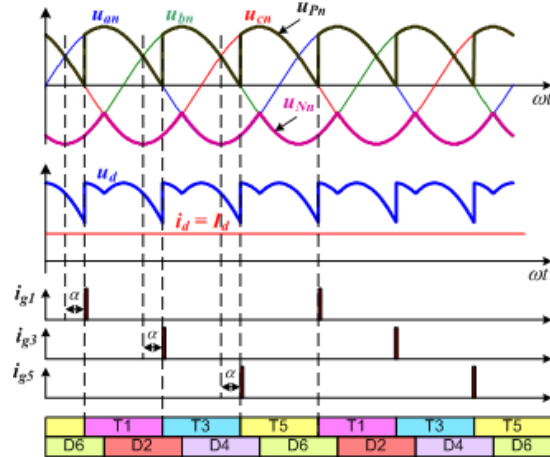
Chỉnh lưu 3 pha cầu điều khiển bán phần

Xét mạch có tải với L đủ lớn để dòng tải i_d có thể xem là phẳng



Khi 1 SCR và 1 diode khác pha dẫn điện, điện áp ra u_d là **điện áp dây** giữa 2 pha tương ứng, ví dụ: khi T_1 và D_2 dẫn, $u_d = u_{an} - u_{cn} = u_{ac}$.

Khi 1 SCR và 1 diode ở cùng pha dẫn điện, ví dụ T_1 và D_4 dẫn, $u_d = 0$.

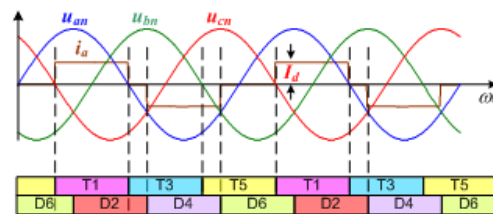
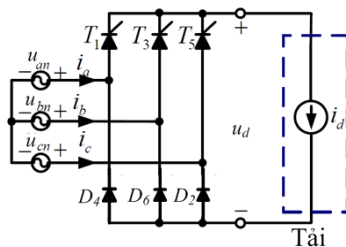


Trường hợp góc kích $\alpha = \pi/6 = 30^\circ$

75

Chỉnh lưu 3 pha cầu điều khiển bán phần

Xét mạch có tải với L đủ lớn để dòng tải i_d có thể xem là phẳng



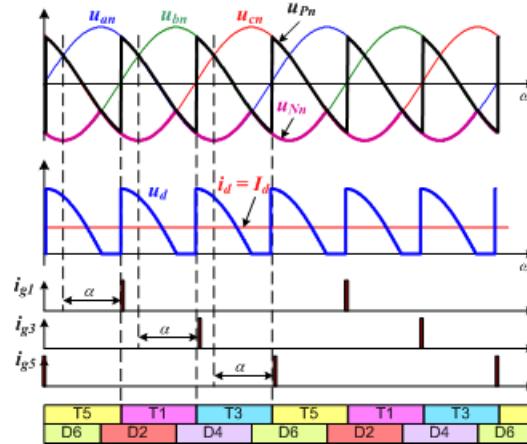
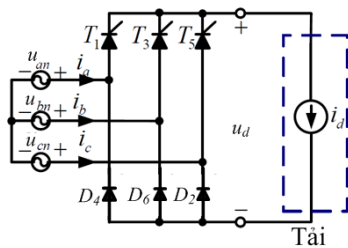
Dạng dòng ngõ vào (pha a)

Trường hợp góc kích $\alpha = \pi/6 = 30^\circ$

76

Chỉnh lưu 3 pha cầu điều khiển bán phần

Xét mạch có tải với L đủ lớn để dòng tải i_d có thể xem là phẳng

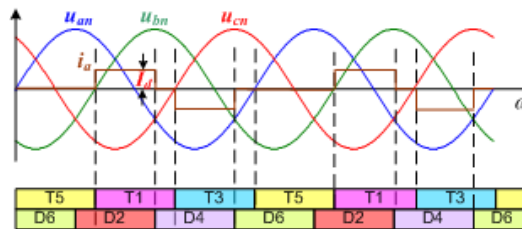
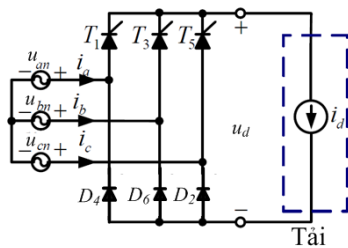


Trường hợp góc kích $\alpha = \pi/2 = 90^\circ$

77

Chỉnh lưu 3 pha cầu điều khiển bán phần

Xét mạch có tải với L đủ lớn để dòng tải i_d có thể xem là phẳng



Dạng dòng ngõ vào (pha a)

Trường hợp góc kích $\alpha = \pi/2 = 90^\circ$

78

Chỉnh lưu 3 pha cầu điều khiển bán phần

Giả thiết dòng tải liên tục \rightarrow dạng điện áp ngõ ra chỉnh lưu chỉ phụ thuộc vào điện áp nguồn và góc kích

Với: $\alpha \leq \pi/3$, áp chỉnh lưu là liên tục. Trị trung bình áp chỉnh lưu là:

$$U_d = \frac{3}{2\pi} \left[\int_{\pi/6+\alpha}^{\pi/2} u_{12} dX + \int_{\pi/2}^{5\pi/6+\alpha} u_{13} dX \right]$$

$$U_d = \frac{3\sqrt{3}U_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha) = \frac{3\sqrt{6}U}{2\pi} (1 + \cos \alpha)$$

Với: $\alpha > \pi/3$, áp chỉnh lưu là gián đoạn.

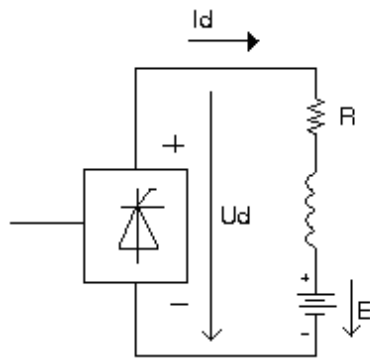
Trị trung bình áp chỉnh lưu là:

$$U_d = \frac{3}{2\pi} \int_{\pi/6+\alpha}^{7\pi/6} u_{13} dX = \frac{3}{2\pi} \int_{\pi/6+\alpha}^{7\pi/6} \sqrt{3}U_m \sin \left(X - \frac{\pi}{6} \right) dX$$

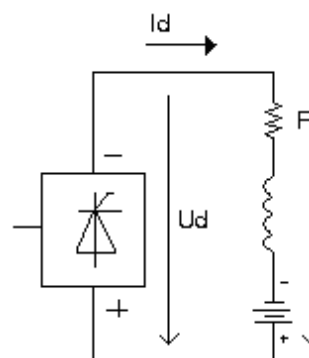
$$U_d = \frac{3\sqrt{3}U_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha) = \frac{3\sqrt{6}U}{2\pi} (1 + \cos \alpha)$$

79

Chế độ chỉnh lưu và chế độ nghịch lưu



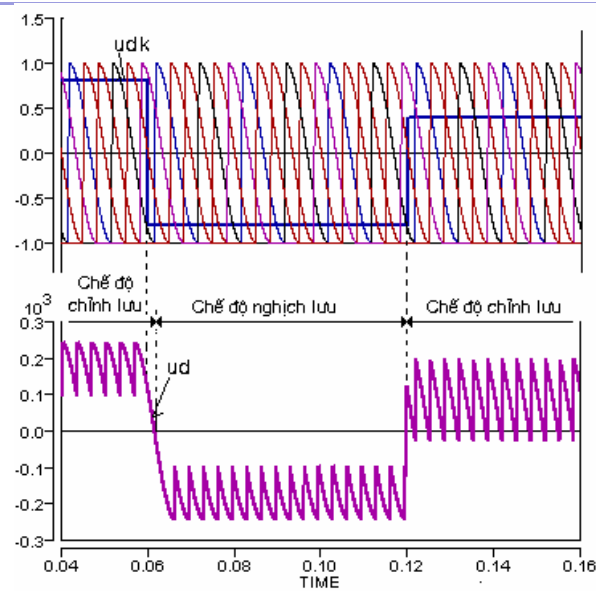
Chế độ chỉnh lưu
 $P_d > 0; \alpha < \frac{\pi}{2}$



Chế độ nghịch lưu
 $P_d < 0; \alpha > \frac{\pi}{2}$

80

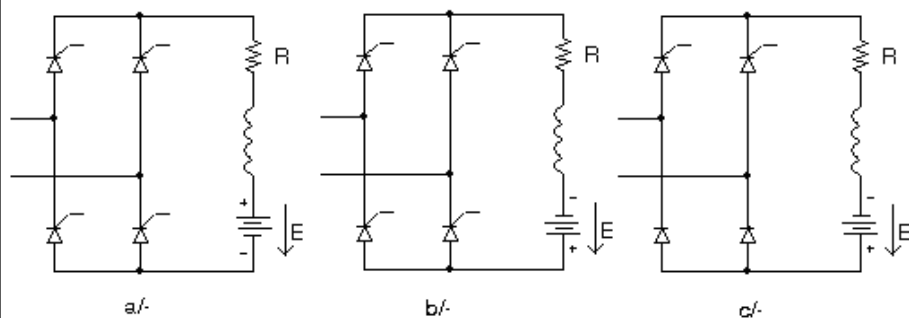
Chế độ chỉnh lưu và chế độ nghịch lưu



81

Chế độ chỉnh lưu và chế độ nghịch lưu

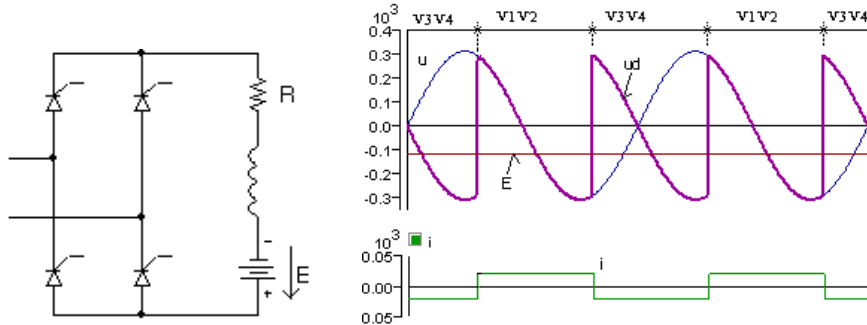
Ví dụ 2.13: Khi nào có thể xảy ra chế độ nghịch lưu trong các mạch dưới đây:



82

Chế độ chỉnh lưu và chế độ nghịch lưu

Ví dụ 2.12: Cho bộ chỉnh lưu cầu một pha điều khiển hoàn toàn mắc vào nguồn ac một pha với trị hiệu dụng 220V, $f=50\text{Hz}$. Tải RLE với $R=1\Omega$, giả thiết dòng điện tải liên tục với L lớn vô cùng làm dòng tải phẳng với độ lớn $I_d=20\text{A}$. Cho biết góc điều khiển $\alpha = 120^\circ$, vẽ quá trình điện áp tải và dòng điện qua nguồn ac. Xác định độ lớn sức điện động E . Tính công suất phát ra của sức điện động và công suất nguồn ac nhận được.



83

Chế độ chỉnh lưu và chế độ nghịch lưu

Giả thiết dòng tải liên tục, điện áp trung bình trên tải:

$$U_d = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot 220 \cdot \cos 120^\circ = -99[\text{V}]$$

Sức điện động E xác định theo:

$$U_d = R \cdot I_d + E \rightarrow E = U_d - R \cdot I_d = -99 - 1 \cdot 20 = -119[\text{V}]$$

Công suất phát ra từ tải:

$$P_E = E \cdot I_d = -119 \cdot 20 = -2380\text{W} = -2,38\text{kW}$$

Công suất tiêu hao trên điện trở:

$$P_R = R \cdot I_d^2 = 1 \cdot 20^2 = 400\text{W} = 0,4\text{kW}$$

Công suất nguồn xoay chiều cung cấp:

$$P_{ac} = U_d \cdot I_d = -99 \cdot 20 = -1980\text{W} = -1,98\text{kW}$$

Dấu (-) có nghĩa là tải đưa công suất về nguồn qua bộ chỉnh lưu.

84

Chế độ dòng liên tục và chế độ dòng gián đoạn

Điện áp chỉnh lưu u_d gồm thành phần một chiều U_d và thành phần xoay chiều $u_{d\sigma}$:

$$u_d = U_d + u_{d\sigma}$$

Thành phần $u_{d\sigma}$ làm áp chỉnh lưu nhấp nhô.

Tương tự, dòng chỉnh lưu i_d cũng bao gồm thành phần một chiều I_d và thành phần xoay chiều $i_{d\sigma}$:

$$i_d = I_d + i_{d\sigma}$$

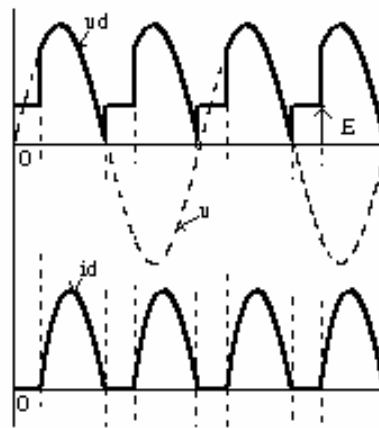
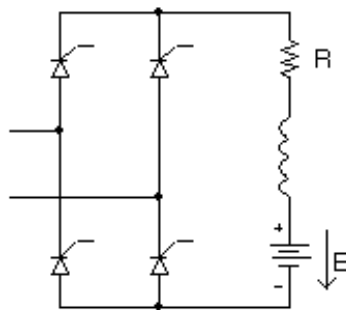
Thành phần $i_{d\sigma}$ làm dòng chỉnh lưu (dòng tải) nhấp nhô và có thể bị gián đoạn.

Ở chế độ dòng gián đoạn, dạng điện áp chỉnh lưu phụ thuộc vào thông số tải, góc kích và dạng điện áp nguồn.

85

Chế độ dòng liên tục và chế độ dòng gián đoạn

Ví dụ: Bộ chỉnh lưu cầu 1 pha tải RLE hoạt động ở chế độ dòng gián đoạn

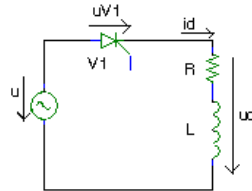


Khảo sát mạch trong chế độ dòng gián đoạn khá phức tạp, thường phải giải hệ phương trình vi phân hoặc dùng chương trình mô phỏng.

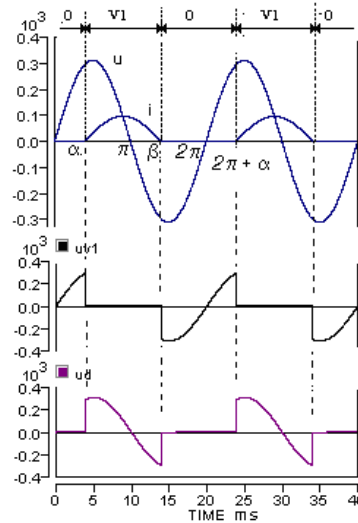
86

Chế độ dòng liên tục và chế độ dòng gián đoạn

Ví dụ 2.14: Phân tích bộ chỉnh lưu bán sóng dùng SCR với hai trường hợp tải RL và RLE.



a. Tải RL



87

Chế độ dòng liên tục và chế độ dòng gián đoạn

Trường hợp tải RL:

Khi SCR dẫn, phương trình mạch điện sẽ là:

$$u_d = u; u_d = R i_d + L \frac{di_d}{dt}$$

Nghiệm của phương trình có dạng:

$$i_d(x) = \frac{U_m}{Z} \sin(x - \theta) + A e^{-\frac{x}{\omega\tau}}$$

$$\text{với } Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}; \theta = \arctan \frac{\omega L}{R}; \tau = \frac{L}{R}$$

Hằng số A xác định từ điều kiện ban đầu $i_d(\alpha) = 0$.

Từ đó, ta có phương trình dòng điện tải trong một chu kỳ áp lưới:

$$i_d(x) = \begin{cases} \frac{U_m}{Z} \left[\sin(x - \theta) - \sin(\alpha - \theta) e^{-\frac{\alpha - x}{\omega\tau}} \right] & ; 0 \leq x \leq \beta \\ 0 & ; \beta < x \leq 2\pi \end{cases}$$

88

Chế độ dòng liên tục và chế độ dòng gián đoạn

Góc β là góc tắt của thyristor và có thể xác định theo điều kiện: $i_d(\beta) = 0$.

$$i_d(\beta) = 0 = \frac{U_m}{Z} \left[\sin(\beta - \theta) - \sin(\alpha - \theta) \cdot e^{-\frac{\alpha - \beta}{\omega \tau}} \right]$$

Góc $(\beta - \alpha)$ gọi là khoảng dẫn của thyristor.

Trị trung bình điện áp chỉnh lưu:

$$U_d = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\beta} U_m \cdot \sin x \cdot dx = \frac{U_m}{2\pi} (\cos \alpha - \cos \beta)$$

Trị trung bình dòng điện tải chỉnh lưu:

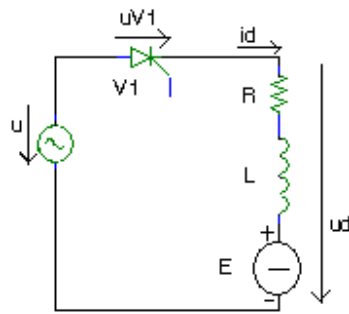
$$I_d = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\beta} i_d(x) \cdot dx$$

Trị hiệu dụng dòng điện qua nguồn bằng với trị hiệu dụng dòng qua linh kiện và qua tải có thể xác định theo hàm tích phân sau:

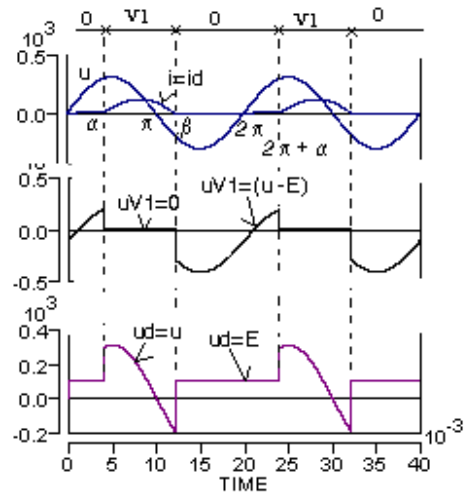
$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\beta} i_d^2(x) \cdot dx}$$

89

Chế độ dòng liên tục và chế độ dòng gián đoạn



b. Tải RLE



90

Chế độ dòng liên tục và chế độ dòng gián đoạn

Trường hợp tải RLE:

Thyristor có thể kích dẫn nếu xung kích thực hiện trong điều kiện áp trên thyristor dương. Rõ ràng điều kiện góc kích α phải thỏa mãn là:

$$\alpha > \alpha_{min} = \arcsin\left(\frac{E}{U_m}\right) \text{ và } \alpha < \pi - \alpha_{min}.$$

Dòng điện tải trong một chu kỳ lưới có thể biểu diễn dưới dạng:

$$i_d(x) = \begin{cases} \frac{U_m}{Z} \cdot \sin(x - \theta) - \frac{E}{R} + A \cdot e^{-\frac{x}{\omega\tau}} & \alpha \leq x \leq \beta \\ 0 & \beta < x \leq 2\pi \end{cases}$$

Hằng số A xác định từ điều kiện dòng qua thyristor tắt:

$$A = \left[-\frac{U_m}{Z} \cdot \sin(\alpha - \theta) + \frac{E}{R} \right] \cdot e^{\frac{\alpha}{\omega\tau}}$$

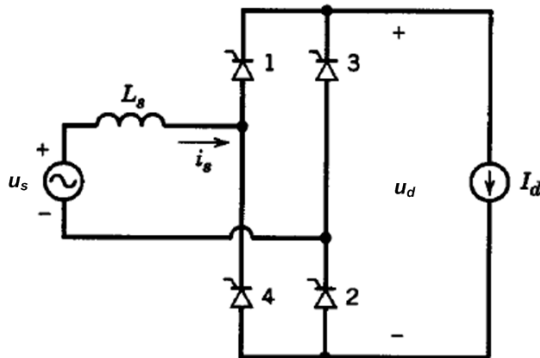
Điện áp tải chỉnh lưu trong thời gian thyristor dẫn điện bằng điện áp nguồn và trong thời gian dòng tải gián đoạn bằng sức điện động của tải $u_d = E$.

91

Hiện tượng chuyển mạch

Xét bộ chỉnh lưu 1 pha điều khiển toàn phần, dòng I_d liên tục và phẳng

Chuyển mạch từ 3,4 sang 1,2

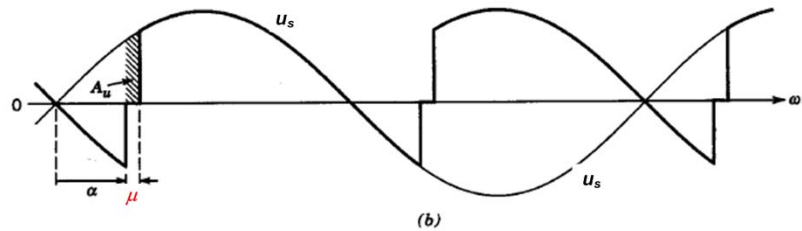
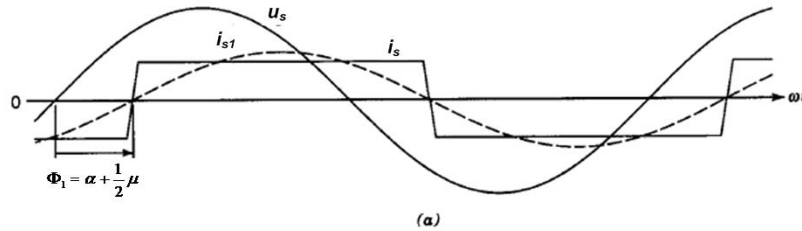


92

Hiện tượng chuyển mạch

Xét bộ chỉnh lưu 1 pha điều khiển toàn phần, dòng I_d liên tục và phẳng

Chuyển mạch từ 3,4 sang 1,2



93

Hiện tượng chuyển mạch

Trong quá trình chuyển mạch:

$$u_s = u_{Ls} = L_s \frac{di_s}{dt}$$

Từ đây, lấy tích phân hai vế trong khoảng thời gian chuyển mạch:

$$\int_{\alpha}^{\alpha+\mu} \sqrt{2} U_s \sin \omega t d(\omega t) = \omega L_s \int_{-I_d}^{I_d} di_s = 2\omega L_s I_d$$

Vế trái của biểu thức trên là diện tích A_u (V-rad) bị mất đi trong quá trình chuyển mạch:

$$A_u = \int_{\alpha}^{\alpha+\mu} \sqrt{2} U_s \sin \omega t d(\omega t) = \sqrt{2} U_s [\cos \alpha - \cos(\alpha + \mu)]$$

Từ đây, suy ra công thức tính góc chuyển mạch:

$$\cos(\alpha + \mu) = \cos \alpha - \frac{2\omega L_s I_d}{\sqrt{2} U_s}$$

Sụt áp ngõ ra do chuyển mạch:

$$\Delta U_{cm} = \frac{A_u}{\pi} = \frac{2\omega L_s I_d}{\pi} = \frac{2\omega L_s}{\pi} I_d = R_{cm} I_d$$

94

Hiện tượng chuyển mạch

Tóm lại, với cầu chỉnh lưu 1 pha điều khiển toàn phần:

$$\text{Sụt áp do chuyển mạch: } \Delta U_{cm} = R_{cm} I_d = \frac{2\omega L_s}{\pi} I_d$$

$$\text{Điện áp ngõ ra chỉnh lưu: } U_d = U_{d0} \cos \alpha - \Delta U_{cm}$$

Góc chuyển mạch tính bởi công thức:

$$\cos(\alpha + \mu) = \cos \alpha - \frac{2\omega L_s I_d}{\sqrt{2} U_s}$$

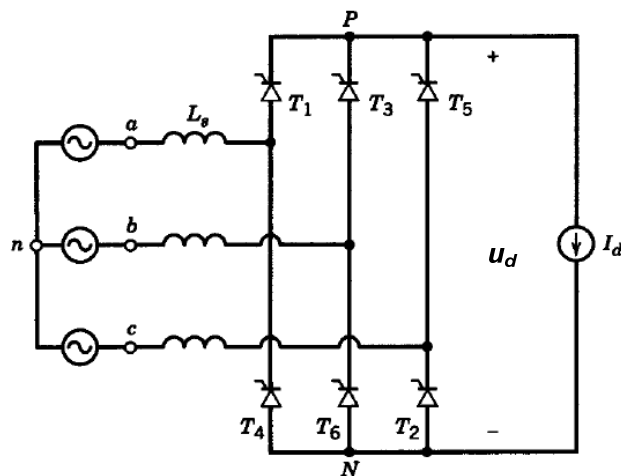
Với cầu chỉnh lưu 1 pha điều khiển bán phần, các công thức tính sụt áp do chuyển mạch, điện áp ngõ ra chỉnh lưu và góc chuyển mạch sẽ ra sao?

95

Hiện tượng chuyển mạch

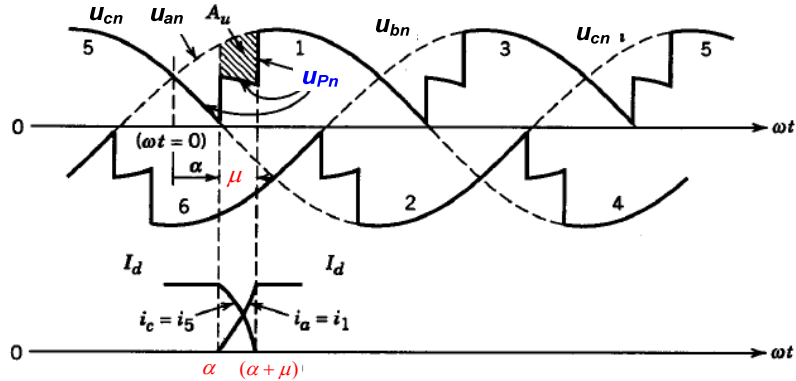
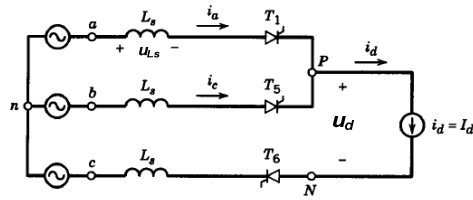
Xét bộ chỉnh lưu 3 pha điều khiển toàn phần, dòng I_d liên tục và phẳng

Chuyển mạch từ T5 sang T1



96

Hiện tượng chuyển mạch



97

Hiện tượng chuyển mạch

Trong khoảng thời gian chuyển mạch:

$$u_{pn} = u_{an} - u_{Ls}$$

Trong đó:

$$u_{Ls} = L_s \frac{di_a}{dt}$$

Lưu ý là diện tích sệt áp A_u trên hình tương ứng với sệt áp trên L_s trong quá trình chuyển mạch, do đó:

$$A_u = \omega L_s \int_0^{I_d} di_s = \omega L_s I_d$$

98

Hiện tượng chuyển mạch

Sụt áp này lặp lại mỗi khoảng $\pi/3$, do đó, sụt áp trung bình trong 1 chu kỳ lưới là:

$$\Delta U_{cm} = R_{cm} I_d = \frac{3\omega L_s}{\pi} I_d$$

Có thể chứng minh được:

$$L_s \frac{di_a}{dt} = \frac{u_{an} - u_{cn}}{2} = \frac{u_{ac}}{2} = \frac{\sqrt{2}U_{LL} \sin \omega t}{2}$$

Bằng cách chuyển dt về vế phải và lấy tích phân 2 vế trong khoảng thời gian chuyển mạch, ta có:

$$\cos(\alpha + \mu) = \cos \alpha - \frac{2\omega L_s I_d}{\sqrt{2}U_{LL}}$$

99

Tổng kết về hiện tượng chuyển mạch

Sụt áp trung bình do chuyển mạch:

- Chỉnh lưu cầu 1 pha điều khiển bán phần: $\Delta U_{cm} = \frac{X_s I_d}{\pi}$
- Chỉnh lưu cầu 1 pha điều khiển toàn phần: $\Delta U_{cm} = \frac{2X_s I_d}{\pi}$
- Chỉnh lưu 3 pha tia: $\Delta U_{cm} = \frac{3X_s I_d}{2\pi}$
- Chỉnh lưu 3 pha cầu điều khiển bán phần: $\Delta U_{cm} = \frac{3X_s I_d}{\pi}$
- Chỉnh lưu 3 pha cầu điều khiển toàn phần: $\Delta U_{cm} = \frac{3X_s I_d}{\pi}$

Trong đó: $X_s = 2\pi f L_s$

100

Tổng kết về hiện tượng chuyển mạch

Góc chuyển mạch μ tính từ công thức:

$$\Delta U_{cm} = \frac{U_{do}}{2} (\cos \alpha - \cos(\alpha + \mu))$$

- U_{do} : điện áp ra cực đại của bộ chỉnh lưu ($\alpha = 0$)

Góc kích tối đa của bộ chỉnh lưu khi kể tới chuyển mạch:

$$\alpha_{\max} = \pi - \mu_{\max} - \delta$$

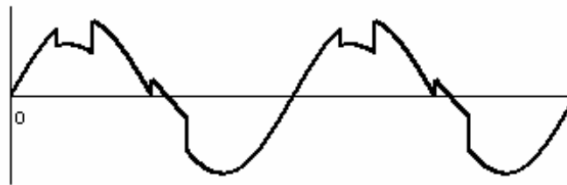
- δ : góc tắt của SCR (tương ứng với thời gian tắt t_{off} của SCR)

101

Ảnh hưởng của hiện tượng chuyển mạch

Làm giảm điện áp chỉnh lưu ra trên tải $U_d = U_{d\alpha} - \Delta U_{cm} = U_{d\alpha} - R_{cm} I_d$

Làm biến dạng điện áp nguồn:

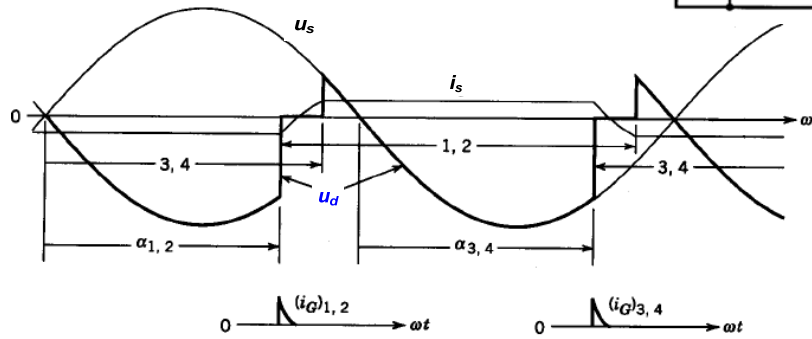
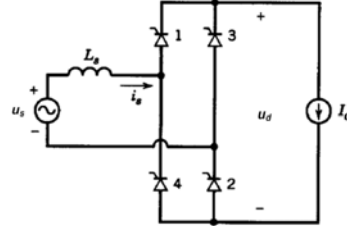


102

Ảnh hưởng của hiện tượng chuyển mạch

Hạn chế phạm vi điều khiển góc kích:

Xét cầu chỉnh lưu 1 pha điều khiển toàn phần làm việc ở chế độ nghịch lưu



103

Ảnh hưởng của hiện tượng chuyển mạch

Bỏ qua hiện tượng chuyển mạch, ta có góc an toàn của thyristor γ :

$$\gamma = \omega \cdot t_q = \pi - \alpha$$

t_q là thời gian khôi phục khả năng khóa của thyristor.

Giá trị góc điều khiển cực đại cho phép:

$$\alpha_{\max} = \pi - \gamma$$

Nếu xét cả hiện tượng chuyển mạch với μ là độ lớn góc chuyển mạch, độ lớn góc an toàn còn lại của thyristor bằng:

$$\gamma = \pi - (\alpha + \mu) = \pi - \alpha - \mu$$

Vậy, góc điều khiển lớn nhất cho phép có giá trị:

$$\alpha_{\max} = \pi - \mu - \gamma$$

Rõ ràng, phạm vi góc điều khiển α ở chế độ nghịch lưu bị hạn chế. Góc chuyển mạch càng lớn (ví dụ khi dòng tải lớn, L_s lớn), góc α_{\max} càng giảm. Trên thực tế α_{\max} thường lấy giá trị khoảng $160^\circ \rightarrow 165^\circ$.

104

Ảnh hưởng của hiện tượng chuyển mạch

Ví dụ 2.20:

Bộ chỉnh lưu cầu một pha điều khiển hoàn toàn mắc vào tải động cơ một chiều. Tải có L_d rất lớn làm dòng tải phẳng $i_d = 100\text{A}$. Nguồn xoay chiều có trị hiệu dụng $U = 380\text{V}$, $L_b = 0,001\text{H}$, $R_b = 0,01\Omega$, $\omega = 314\text{ rad/s}$. Độ sụt áp trên một linh kiện là 2V .

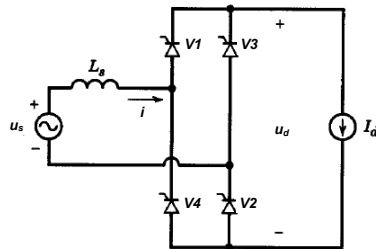
a/- Phân tích hiện tượng chuyển mạch

b/- Tính điện áp lớn nhất do bộ chỉnh lưu cung cấp cho tải

c/- Tính độ tăng $\left(\frac{di_V}{dt}\right)_{\max}$

d/- Tính độ lớn góc chuyển mạch μ khi $\alpha = 0$

e/- Tính góc điều khiển α_{\max} , giả thiết thời gian khôi phục khả năng khóa của SCR là $t_q = 50\mu\text{s}$



105

Ảnh hưởng của hiện tượng chuyển mạch

Ví dụ 2.20:

a/. Khi xảy ra hiện tượng chuyển mạch, ta có phương trình:

$$i_{V1} + i_{V3} = I_d; \quad u = L_b \frac{di}{dt}$$

$$i = i_{V1} - i_{V4} = i_{V2} - i_{V3}$$

$$u_d = -u_{V1} - u_{V4} = 0$$

Suy ra:

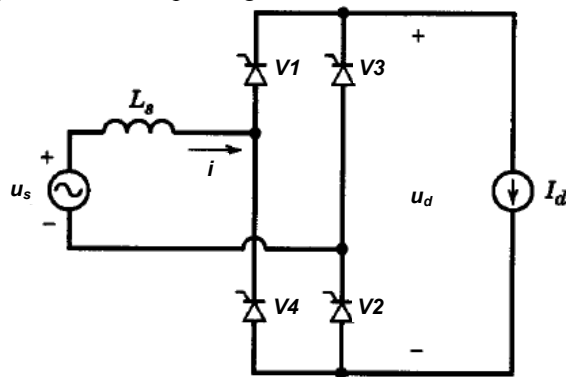
$$\frac{di_{V1}}{dt} = -\frac{di_{V3}}{dt}$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{di_{V1}}{dt} - \frac{di_{V3}}{dt} = 2 \frac{di_{V1}}{dt}$$

Độ tăng dòng điện qua SCR:

$$\frac{di_{V1}}{dt} = \frac{1}{2} \frac{di}{dt} = \frac{1}{2} \frac{u}{L_b}$$

$$\frac{di_{V1}}{dt} = \frac{1}{2} \frac{\sqrt{2}U \sin \omega t}{L_b}$$



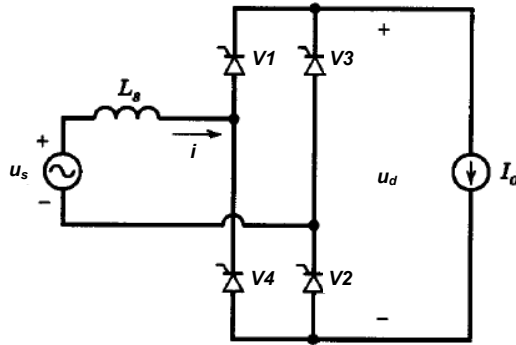
106

Ảnh hưởng của hiện tượng chuyển mạch

Ví dụ 2.20:

Góc chuyển mạch tính theo công thức:

$$\cos(\alpha + \mu) = \cos \alpha - \frac{2\omega L_b I_d}{\sqrt{2}U}$$



107

Ảnh hưởng của hiện tượng chuyển mạch

Ví dụ 2.20:

b/. Điện áp lớn nhất do bộ chỉnh lưu cung cấp cho tải

Độ sụt áp trên SCR: $\Delta U_V = 2 \times 2V = 4[V]$

Độ sụt áp trên R_b : $\Delta U_{Rb} = 0,01 \times 100 = 1[V]$

Độ sụt áp gây ra bởi quá trình chuyển mạch :

$$\Delta U_{cm} = R_{cm} \cdot I_d = \frac{2.314.0,001}{\pi} \cdot 100 = 19,9[V]$$

Điện áp trung bình lớn nhất bộ chỉnh lưu cấp cho tải :

$$U_{dmax} = U_{d0} - (\Delta U_V + \Delta U_{Rb} + \Delta U_{cm})$$

$$U_{dmax} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot 380 - (4 + 1 + 19,9) = 317,7[V]$$

108

Ảnh hưởng của hiện tượng chuyển mạch

Ví dụ 2.20:

c/. Tính độ tăng $\left(\frac{di_V}{dt}\right)_{\max}$

Tính độ tăng dòng qua SCR khi đóng tại thời điểm α :

$$\frac{di_V}{dt} = \frac{U \cdot \sqrt{2}}{2 \cdot L_b} \sin \alpha$$

Độ dốc đạt cực đại khi $\alpha = \frac{\pi}{2}$. Lúc đó:

$$\left(\frac{di_V}{dt}\right)_{\max} = \frac{380\sqrt{2}}{2 \cdot 0,001} = 0,2687 \cdot 10^6 [A / s] = 0,2687 [A / \mu.s]$$

109

Ảnh hưởng của hiện tượng chuyển mạch

Ví dụ 2.20:

d/. Góc chuyển mạch khi $\alpha = 0$

$$\begin{aligned} \mu &= \arccos \left(\cos \alpha - \frac{2 \cdot I_d \cdot \omega \cdot L_b}{\sqrt{2} \cdot U} \right) - \alpha \\ &= \arccos \left(\cos 0 - \frac{2 \cdot 100 \cdot 314 \cdot 0,001}{\sqrt{2} \cdot 380} \right) - 0 \\ \mu &= 0,488 [rad] \approx 28^\circ \end{aligned}$$

110

Ảnh hưởng của hiện tượng chuyển mạch

Ví dụ 2.20:

e/. Tính góc điều khiển lớn nhất

Quy đổi thời gian tắt (thời gian khôi phục khả năng khóa của SCR) về góc điện γ :

$$\gamma = \omega.t_q = 314 \cdot 10^{-6} \cdot 50 = 0,0157[\text{rad}] \approx 0,9^\circ$$

Góc chuyển mạch tại α_{\max} tính theo công thức:

$$\cos(\alpha_{\max} + \mu) = \cos \alpha_{\max} - \frac{2\omega L_b I_d}{\sqrt{2}U}$$

$$\text{Trong đó: } (\alpha_{\max} + \mu) = (\pi - 0,0157)$$

Suy ra:

$$\cos \alpha_{\max} = \frac{2 \cdot 100}{\sqrt{2} \cdot 380} \cdot 314 \cdot 0,001 + \cos(\pi - 0,0157)$$

$$\cos \alpha_{\max} = -0,8830 \Rightarrow \alpha_{\max} = 2,653[\text{rad}] \approx 152^\circ$$

111

Tính chọn các thiết bị trong bộ chỉnh lưu

Chọn diode, SCR:

- Áp ngược cực đại đặt lên linh kiện $\times K_u$ ($2 \rightarrow 2.5$)
- Dòng trung bình (hoặc dòng hiệu dụng) cực đại qua linh kiện $\times K_I$ ($1.2 \rightarrow 1.5$)

Chọn biến áp: dựa trên

- Điện áp chỉnh lưu cực đại
- Công suất ra cực đại

112

Tính chọn các thiết bị trong bộ chỉnh lưu

| | | | |
|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | | | |
| Trị trung bình áp tải | $U_d(\alpha)$ ($\alpha = 0$) | $\frac{3\sqrt{6}}{\pi} U$ | $\frac{3\sqrt{6}}{\pi} U$ |
| Điện áp làm việc | U_{RWM} | $\sqrt{6} U$ | $\sqrt{6} U$ |
| Dòng qua linh kiện | Dạng i_v | | |
| | I_{VAV} | $I_d/3$ | $I_d/3$ |
| | I_{VRMS} | $I_d/\sqrt{3}$ | $I_d/\sqrt{3}$ |
| Dòng pha cuộn thứ cấp | | | |
| | I_S | $\sqrt{2/3} I_d$ | $I_d \sqrt{2} / 3$ |
| Dòng ngõ vào bộ chỉnh lưu | i | | |
| | I_{RMS} | $\sqrt{2/3} I_d$ | $\sqrt{2/3} I_d$ |

113

Tính chọn các thiết bị trong bộ chỉnh lưu

| | | | |
|------------------------|-----------------|------------------|--------------------|
| | | | |
| Cuộn sơ cấp | Dòng lưới | | |
| | I_{PRMS} | $\sqrt{2/3} I_d$ | $I_d \sqrt{2} / 3$ |
| | DC EMF | 0 | 0 |
| Cuộn sơ cấp | Dòng pha | | |
| | I_{PRMS} | $\sqrt{2/3} I_d$ | $I_d \sqrt{2} / 3$ |
| | DC EMF | 0 | 0 |
| | Dòng lưới i_L | | |
| | I_L | $1,38 I_d$ | $\sqrt{2/3} I_d$ |
| Hệ số sử dụng MBA | | 1,05 | 1,05 |

114

Tính chọn các thiết bị trong bộ chỉnh lưu

Ví dụ 2.22:

Cho bộ chỉnh lưu cầu ba pha điều khiển hoàn toàn. Nguồn điện áp xoay chiều lấy từ phía thứ cấp $U = 220 \text{ V}$, tần số $\omega = 314 \text{ rad/s}$. Tải $R = 0,1 \text{ } \Omega$, L rất lớn dùng làm dòng tải liên tục và phẳng, $E = 200 \text{ V}$, góc điều khiển $\alpha = \frac{\pi}{3} [\text{rad}]$.

a/- Tính trị trung bình áp U_d và dòng I_d .

b/- Trị trung bình và trị hiệu dụng dòng qua SCR.

c/- Tính trị hiệu dụng dòng điện qua nguồn xoay chiều.

d/- Giả sử trong quá trình điều khiển do tải thay đổi (E), α thay đổi trong phạm vi $(0, \pi)$. Dòng tải được điều chỉnh ở giá trị xác định ở câu a/- . Tính công suất máy biến áp.

115

Tính chọn các thiết bị trong bộ chỉnh lưu

a/. Tính U_d và I_d với $\alpha = \frac{\pi}{3}$

$$U_d = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} \cdot U \cdot \cos \alpha = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} \cdot 220 \cdot \cos\left(\frac{\pi}{3}\right) = 257 \text{ [V]}$$

$$I_d = \frac{U_d - E}{R} = \frac{257 - 200}{0,1} = 572 \text{ [A]}$$

b/. Dòng trung bình và dòng hiệu dụng qua mỗi SCR (tra bảng tóm tắt):

$$I_{V,AV} = \frac{I_d}{3} = 190,6 \text{ [A]}$$

$$I_{V,RMS} = \sqrt{\frac{1}{3}} \cdot I_d = \sqrt{\frac{1}{3}} \cdot 572 = 330 \text{ [A]}$$

116

Tính chọn các thiết bị trong bộ chỉnh lưu

c/. Trị hiệu dụng dòng nguồn (tra bảng tóm tắt):

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot I_d = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot 572 = 467 [A]$$

d/. Công suất máy biến áp:

$$S = 1,05 \cdot U_{dmax} \cdot I_d$$

$$U_{dmax} = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} \cdot 220 = 514,5 [V]$$

$$I_d = 572 [A]$$

$$S = 1,05 \cdot 514,5 \cdot 572 = 309068 \text{ VA}$$

$$S = 309 \text{ kVA}$$